

Grado en Ingeniería Eléctrica

2016-2017

*Trabajo Fin de Grado*

**Proyecto de mejora en la  
iluminación, eficiencia energética y  
control del flujo luminoso de la EPS  
Universidad Carlos III de Madrid**

---

**Javier Becerril del Olmo**

Tutor

**Esteban Patricio Domínguez González-Seco**

**Leganés, julio de 2017**



*«El conocimiento es la luz que iluminará vuestro camino».*

***Robert Fisher***





# Agradecimientos

*En primer lugar, quiero agradecerle a mi tutor D. Esteban Patricio Domínguez la orientación, supervisión y ayuda recibida mientras realizaba el proyecto.*

*A mi familia por garantizar toda mi educación.*

*Al Departamento de Infraestructuras y Servicios en Campus de Leganés, el personal que me ha facilitado información y acceso dentro de la Universidad y, en especial, a Alejandro Gallardo, José Ángel Herrera y Gustavo Adolfo García por sus lecciones y dedicación diaria durante mi estancia en el departamento.*

*Por último, a mis compañeros y amigos con los que he vivido y compartido tantas experiencias durante los últimos años.*

*A todos, muchas gracias.*



# Resumen del proyecto

El presente Trabajo Final de Grado es un proyecto de mejora en la iluminación, eficiencia energética y control del flujo luminoso de las instalaciones de alumbrado interior y exterior de la Escuela Politécnica Superior del Campus de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid.

El objetivo principal del proyecto es mejorar la eficiencia energética valorando un cambio a tecnología LED de las actuales luminarias instaladas. También se añadirán nuevos sistemas de control y regulación del flujo luminoso aprovechando la luz natural, teniendo en cuenta la arquitectura del Campus y su situación geográfica.

Al efecto, se realiza un estudio de iluminación con el software DIALux evo 7 junto a planos de AutoCAD, así como los cálculos realizados en hojas de cálculo Excel.

Para realizar una sustitución de los actuales componentes, se realiza un análisis comparativo técnico y de costes, haciendo hincapié en los parámetros fotoeléctricos, los consumos eléctricos y los precios de compra, instalación y mantenimiento. Por este motivo, se realizarán diferentes propuestas e hipótesis, con el objetivo de concluir en el mejor resultado posible.

Para todo ello, ha sido necesario el uso de metodologías de estudio en auditorías energéticas, normativas actuales de aplicación en iluminación y tecnologías actuales a implementar más adecuadas.

Finalmente, es importante destacar la eliminación de lámparas que contienen mercurio y que el efecto de la mejora en la eficiencia energética de las instalaciones y sus consumos supone un impacto directo en el medio ambiente, al reducirse también las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la generación de la electricidad.



# Summary

The present Final Grade Work is a project to improve lighting, energy efficiency and control of the luminous flux of the interior and exterior lighting installations on the Polytechnic School, Carlos III University of Madrid.

The main objective of the project is to improve energy efficiency by assessing the change of LED technology of the existing installed luminaires. New systems of control and regulation of the luminous flux are also added taking advantage of the natural light, considering the architecture of the Campus and its geographical location.

To this effect, a study of lighting is done with DIALux evo 7 and Auto CAD software, as well as calculations made in Excel spreadsheets.

To make a substitution of the current components, a comparative technical and cost analysis is made, emphasizing the photoelectric parameters, the electrical consumptions and the prices of purchase, installation and maintenance. For this reason, several proposals and hypotheses are made, with the aim of concluding in the best possible result.

For all this, it has been necessary to use study methodologies in energy audits, current standards of application in lighting and current technologies to be implemented more suitable.

Finally, it is important to highlight the elimination of mercury-containing lamps and that the effect of improving the energy efficiency of installations and their consumption has a direct impact on the environment, as carbon dioxide emissions associated with Generation of electricity.



# Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes y finalidad del proyecto .....	1
1.2. Objeto del proyecto.....	1
<b>2. Descripción de la zona de estudio.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Parámetros fundamentales .....</b>	<b>6</b>
3.1. Luz y luz visible.....	6
3.2. Conceptos básicos de la luz y la visión.....	7
3.2.1. Radiación de fuente con espectro continuo: Incandescencia [3].....	10
3.2.2. Radiación de fuente con espectro discontinuo: Luminiscencia [3].....	11
3.3. Magnitudes físicas fundamentales [3] .....	12
3.4. Propiedades de la materia .....	16
3.4.1. Ley de conservación del flujo .....	16
3.5. El sistema visual humano.....	17
3.5.1. El ojo humano [10].....	17
3.5.2. Funcionamiento del ojo humano [3] .....	18
3.5.3. Efecto Purkinje .....	20
3.6. Factores de rendimiento [3] .....	21
3.6.1. Capacidad visual .....	21
3.6.2. Percepción del contraste .....	21
3.6.3. Agudeza visual .....	23
<b>4. Magnitudes luminotécnicas.....</b>	<b>24</b>
4.1. Temperatura de color .....	24
4.1.1. Curvas de Kruithof.....	25
4.2. Índice de Reproducción Cromática.....	26
4.3. Vida útil .....	27

4.4. Vida media de la lámpara .....	27
4.5. Eficacia luminosa o rendimiento luminoso.....	28
4.6. Eficiencia energética o rendimiento energético .....	28
4.7. Depreciación del flujo [13] .....	30
4.8. Deslumbramiento .....	31
4.8.1. <i>Ratio Unificado de Deslumbramiento [16]</i> .....	32
4.9. Grados de protección IP e IK.....	33
<b>5. Tecnologías de iluminación, control y regulación del flujo luminoso .....</b>	<b>36</b>
5.1. Tecnologías de iluminación [19] .....	36
5.1.1. <i>Lámparas incandescentes</i> .....	36
5.1.2. <i>Lámparas halógenas</i> .....	38
5.1.3. <i>Lámparas fluorescentes</i> .....	39
5.1.4. <i>Equipos auxiliares [20]</i> .....	40
5.1.5. <i>LED</i> .....	41
5.1.6. <i>Comparativa</i> .....	44
5.1.6.1 Comparativa calor emitido por fluorescente y LED .....	46
5.1.7. <i>Presentación</i> .....	47
5.1.7.1. Sistemas de fijación .....	47
5.1.7.2. Reflectores luminaria.....	48
5.1.7.3. Difusores luminaria.....	48
5.2. Equipos auxiliares de control y regulación [20] .....	49
5.2.1. <i>Regulación DALI [21]</i> .....	50
<b>6. Estado del arte.....</b>	<b>51</b>
6.1. Normativas actuales de aplicación en iluminación .....	52
6.1.1. <i>CTE DB HE [22]</i> .....	52
6.1.1.1. Exigencia básica HE 1: Limitación de la demanda energética .....	54
6.1.1.2. Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas .....	54
6.1.1.3. Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación .....	54



6.1.1.3.1. Valor de Eficiencia Energética de la Instalación .....	56
6.1.1.3.2. Potencia instalada en edificio .....	57
6.1.1.3.3. Sistemas de control y regulación .....	57
6.1.1.3.4. Mantenimiento de instalaciones .....	60
6.1.1.4. Exigencia básica HE 4: Contribución solar mínima de ACS .....	60
6.1.1.5. Exigencia básica HE 5: Contribución fotovoltaica mínima energía eléctrica.....	60
6.1.2. UNE 12464-1 [23] .....	61
6.1.2.1. Términos y definiciones.....	62
6.1.2.2. Criterios de diseño de iluminación .....	63
6.1.3. UNE 12464-2 [24] .....	73
6.1.3.1. Términos y definiciones.....	74
6.1.3.2. Criterios de diseño de iluminación .....	75
6.1.3.3. Inventario de requisitos de iluminación.....	80
6.2. Metodología de estudio en auditorías energéticas y eficiencia energética .....	81
6.2.1. RD 56-2016 [25].....	81
6.2.2. UNE-EN 16247-2 [26].....	84
6.2.3. RD 1890-2008 [27].....	87
6.2.3.1. ITC EA-01: Eficiencia energética de una instalación .....	89
6.2.3.2. ITC EA-02: Niveles de iluminación .....	92
6.2.3.3. ITC EA-03: Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta .....	95
6.2.3.4. ITC EA-04: Componentes de las instalaciones .....	96
<b>7. Estado actual de las instalaciones.....</b>	<b>99</b>
7.1. Edificio Agustín Betancourt .....	102
7.1.1. Datos generales .....	103
7.2. Edificio Sabatini.....	104
7.2.1. Datos generales .....	105
7.3. Biblioteca Rey Pastor.....	106
7.3.1. Datos generales .....	107

7.4. Edificio Torres Quevedo.....	108
7.4.1. <i>Datos generales</i> .....	109
7.5. Edificios Juan Benet I y II .....	110
7.5.1. <i>Datos generales</i> .....	111
7.5.2. <i>Datos generales</i> .....	112
7.6. Alumbrado exterior.....	113
7.6.1. <i>Datos generales</i> .....	114
7.7. Mediciones nivel de iluminación .....	115
<b>8. Propuestas de actuación.....</b>	<b>116</b>
8.1. Sustitución a tecnologías actuales.....	116
8.1. Sustitución de pantallas.....	118
8.1.1. <i>Pantallas fluorescentes</i> .....	118
8.1.2. <i>Pantallas LED</i> .....	121
8.2. Sustitución de downlights y fluorescentes compactos.....	123
8.2.1. <i>Fluorescentes compactos 22W, 13W, 9W y 16W</i> .....	123
8.2.2. <i>Downlights LED</i> .....	124
8.3. Sustitución de halógenos.....	125
8.3.1. <i>Halógenos 46W y 400W</i> .....	125
8.3.2. <i>Proyector LED</i> .....	126
8.4. Sustitución de plafones de interior y exterior .....	127
8.4.1. <i>Plafones de pared y techo interiores y exteriores</i> .....	127
8.4.2. <i>Plafones de pared y techo exteriores LED</i> .....	128
8.5. Sustitución de alumbrado exterior .....	129
8.5.1. <i>Farolas halógenas</i> .....	129
8.5.2. <i>Farolas LED</i> .....	130
8.6. Sistemas de control y regulación del flujo luminoso .....	132
8.6.1. <i>Sistema de control de luz diurna y detector de presencia</i> .....	132

8.7. Sustitución instalación fluorescente a LED [35] .....	134
8.7.1. Cambio de cableado [36] .....	135
<b>9. Simulaciones.....</b>	<b>136</b>
9.1. Edificio Agustín Betancourt .....	137
9.1.1. Aula 1.0.B.03 .....	137
9.1.2. Despacho 1.3.D.08.....	140
9.1.3. Laboratorio 1.0.S.01 .....	142
9.1.4. Talleres nave sur.....	144
9.1.5. Pasillos planta baja .....	146
9.2. Edificio Sabatini.....	148
9.2.1. Despacho 2.0.B.19 .....	148
9.2.2. Aula 2.3.B.04. ....	151
9.2.3. Pasillos planta 1 .....	153
9.3. Biblioteca Rey Pastor.....	155
9.3.1. Sala de lectura y estanterías planta 1 .....	155
9.4. Edificio Torres Quevedo.....	158
9.4.1. Pasillos planta baja .....	158
9.4.2. Aula informática 4.S.D.02 .....	161
9.4.3. Aparcamiento Torres Quevedo.....	163
9.4.4. Soportal.....	165
9.5. Edificios Juan Benet I y II .....	167
9.5.1. Pasillos segunda planta Juan Benet II .....	168
9.5.2. Aseo Juan Benet I .....	170
9.5.3. Tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I.....	172
9.6. Alumbrado exterior.....	174
9.6.1. Parque Sabatini .....	174
9.6.2. Parque y calle peatonal .....	177

9.6.3. Accesos aparcamientos Auditorio y Torres Quevedo .....	180
9.6.4. Acceso talleres Betancourt .....	183
<b>11. Comparativa instalaciones actuales y propuestas .....</b>	<b>186</b>
10.1. Edificio Agustín Betancourt .....	187
10.2. Edificio Sabatini.....	188
10.3. Biblioteca Rey Pastor.....	189
10.4. Edificio Torres Quevedo.....	190
10.5.1. Edificio Juan Benet I.....	191
10.5.2. Edificio Juan Benet II .....	192
10.6. Alumbrado exterior.....	193
10.7. Comparativa global.....	194
<b>11. Mediciones y presupuesto .....</b>	<b>195</b>
11.1. Mediciones y presupuesto.....	196
11.2. Resumen del presupuesto.....	201
<b>12. Estudio económico y huella de carbono.....</b>	<b>203</b>
12.1. Evaluación del Coste del Ciclo de Vida .....	203
12.2. Pay-back.....	204
12.3. TIR .....	205
12.4. VAN.....	205
12.5. Huella de carbono [38].....	206
<b>13. Efectos de la luz artificial LED en la salud [39].....</b>	<b>207</b>
<b>14. Conclusiones.....</b>	<b>209</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>212</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>218</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>222</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes y finalidad del proyecto

Se redacta el presente **“Proyecto de mejora en la iluminación, eficiencia energética y control del flujo luminoso de la EPS Universidad Carlos III de Madrid”** como Trabajo Fin de Grado de Ingeniería Eléctrica.

La finalidad del proyecto es mejorar las instalaciones de alumbrado interior y exterior del Campus de la Escuela Politécnica Superior con el uso de nuevas tecnologías de iluminación y el empleo de diversos sistemas de control y regulación. Con estas medidas de ahorro se rehabilitarán y renovarán las instalaciones del Campus, obteniendo una mejora de la eficiencia energética.

### 1.2. Objeto del proyecto

El objeto del proyecto es establecer y justificar todos los parámetros constructivos que permitan la ejecución de una correcta instalación y exponer el cumplimiento de todas las normas y garantías exigidas por la reglamentación vigente.

En la memoria del proyecto se recogen las normas, las características de los materiales y la forma de ejecución de las obras a realizar.

Todas las medidas técnicas realizadas en este proyecto son solo una de las partes necesarias para lograr una completa mejora de la eficiencia energética de una instalación. También se desarrollan brevemente reglas de otras secciones del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación para lograr el requisito básico “*Ahorro de energía*”.

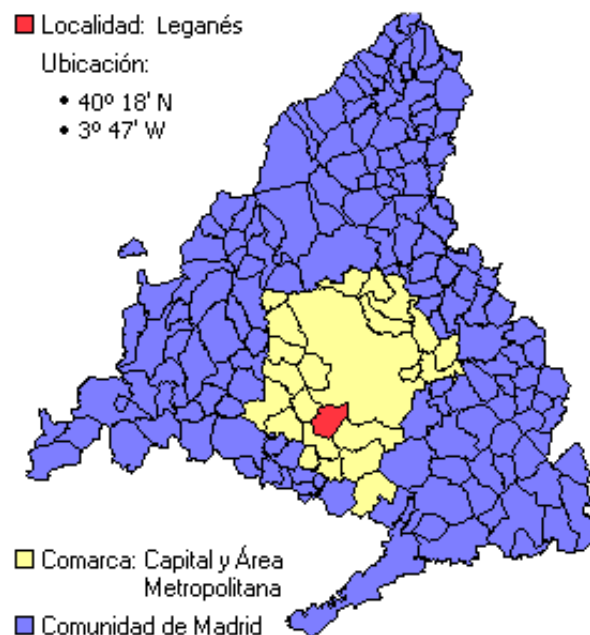
La memoria incluye un análisis de la inversión del proyecto, a través del TIR, VAN y Pay-back.

Junto al ahorro energético y económico, se tiene como objeto concienciar a la sociedad del buen uso de las instalaciones y evitar los malos hábitos de consumo, excesivos e innecesarios.

## Capítulo 2

### Descripción de la zona de estudio

El Campus de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid y, por tanto, las instalaciones que se pretenden realizar, están situadas en la localidad madrileña de Leganés, al sur de Madrid.



**Figura 2.1. Localización global.** <sup>2.1</sup>

El Campus se sitúa en el antiguo emplazamiento del acuartelamiento del Regimiento de Infantería Motorizada (RIMZ) de Saboya nº 6 del Ejército de Tierra de España.

---

<sup>2.1</sup> Fuente: <http://mapsof.net/uploads/thumbnails/267/leganes.png>



*Figura 2.2. Antiguo acuartelamiento del RIMZ de Saboya n°6.*<sup>2.2</sup>

Es un complejo proyecto iniciado por Ramón Vázquez Molezún, Gerardo Salvador Molezún y José Ramón Menéndez de Lurca de más de 100.000 metros cuadrados, construido y ampliado en diferentes fases.

Inicialmente los talleres y naves del acuartelamiento fueron derribados y en 1991 finalizó la primera fase, estructurada entorno a una plaza central presidida por un edificio departamental y sus talleres de ingeniería. [1]

Sus infraestructuras y servicios han sido adecuadas desde entonces para cumplir las necesidades y demandas solicitadas, hasta alcanzar el estado actual, contando con medios docentes y de investigación, así como áreas de servicio y para la celebración de actos y actividades deportivas.

Se tendrá especial detalle en el histórico y renombrado edificio Sabatini. Diseñado por el italiano Francisco Sabatini, teniente general del Ejército y arquitecto al servicio del rey Carlos III, que da nombre a la Universidad.

Tras finalizar su construcción en el año 1783 como Fábrica del Cuartel de Reales Guardias Walonas de la Villa de Leganés, en 1939 llega el Regimiento de Infantería Motorizada de Saboya n° 6. En 1993 finalizan las obras de rehabilitación del edificio con innumerables problemas estructurales y acaba formando parte de las instalaciones de la Universidad Carlos III de Madrid. [2]

---

<sup>2.2</sup> Fuente: <http://static.socialgo.com/cache/179353/image/82703.jpg>





*Figura 2.3. EPS UC3M en la actualidad.* <sup>2,3</sup>

Durante el desarrollo de los apartados técnicos del proyecto se detallarán las diferentes zonas y usos de los edificios. No serán objeto de estudio los edificios del auditorio y polideportivo.

Se tendrá especial detalle en las zonas que puedan aprovechar la luz natural, ya sea por su localización y orientación o por elementos en la envolvente del edificio que faciliten su captación.

---

<sup>2,3</sup> Fuente: <https://www.google.es/maps>

## Capítulo 3

### Parámetros fundamentales

Previa a la redacción de los capítulos técnicos del proyecto, es necesario desarrollar un apartado en el que se introduzcan todos los parámetros y conceptos fundamentales referentes a la luz.

#### 3.1. Luz y luz visible

La luz, en términos físicos, es el conjunto de radiaciones electromagnéticas formadas por partículas sin masa llamadas fotones.

Teniendo en cuenta el carácter del proyecto, se debe definir el concepto de luz visible como el conjunto de radiaciones electromagnéticas del espectro visible, capaces de ser detectadas por el sentido de la vista humano.

La luz tiene una doble naturaleza, corpuscular y ondulatoria. Según la naturaleza ondulatoria y la Teoría electromagnética del matemático escocés James Clerk Maxwell, la luz es uno de los componentes del espectro magnético.

$$c = \lambda \cdot f$$

Donde:

- $c$  es la velocidad de la luz, con valor  $3 \cdot 10^8$  m/s
- $\lambda$  es la longitud de onda
- $f$  es la frecuencia de onda

El alemán Max Planck anuncia con la Ley de Planck que la energía electromagnética en una específica longitud de onda, en el vacío, posee una frecuencia ligada y una energía de fotón, obteniendo la siguiente relación:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Donde:

- E es la energía electromagnética
- h es la constante de Planck, con valor  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- f es la frecuencia de onda
- c es la velocidad de la luz, con valor  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

### 3.2. Conceptos básicos de la luz y la visión

Para poder realizar una descripción de una onda electromagnética, se hace referencia a los parámetros habituales de cualquiera otra onda.

- **Frecuencia (f) o ( $\nu$ ):** es el número de oscilaciones de una onda por unidad de tiempo. Es una cantidad inversa al período. Se mide en  $[\text{s}^{-1}]$  o  $[\text{Hz}]$ .

$$f = \nu = \frac{1}{T}$$

- **Período (T):** es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda. Es una cantidad inversa a la frecuencia. Se mide en  $[\text{s}]$ .

$$T = \frac{1}{f}$$

- **Velocidad de propagación ( $v$ ):** es la distancia recorrida por unidad de tiempo. Se mide en  $[\text{m/s}]$ .

- **Velocidad de la luz (c):** es una constante universal que el vacío tiene un valor de  $299.792,458 \text{ kms/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

- **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** es la distancia recorrida por la onda en un período, la distancia recorrida entre dos puntos equivalentes de ondas sucesivas. Se mide en  $[\text{m}]$ .

$$\lambda = v \cdot T [\text{m}]$$

Las radiaciones asociadas al espectro visible se miden en nanómetros o ångströms.

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$$

Por tanto, la velocidad, la longitud de onda, la frecuencia y el período mantienen la siguiente relación:

$$v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

- **Espectro de frecuencias:** es un gráfico de la distribución de amplitudes para cada frecuencia. Debido a que todas las radiaciones electromagnéticas se propagan a la misma velocidad, en vacío a la velocidad de la luz, lo que caracteriza y diferencia a las ondas es su longitud de onda, es decir, su frecuencia. [3]

La radiación electromagnética no tiene límites de frecuencia o longitud de onda, teóricamente todas son posibles.

- **Espectro electromagnético:** es el conjunto organizado de las frecuencias o longitudes de onda en que se descompone la radiación electromagnética. Los intervalos que definen los 7 tipos principales de radiaciones a veces no están bien definidos y pueden solaparse. Las principales radiaciones electromagnéticas son: [4]

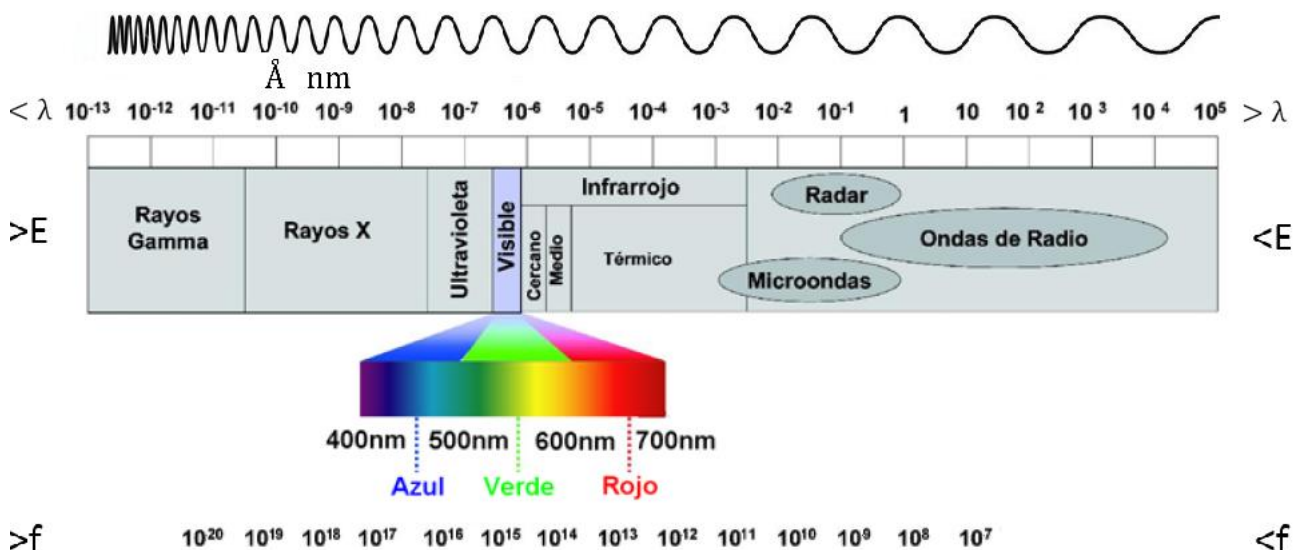
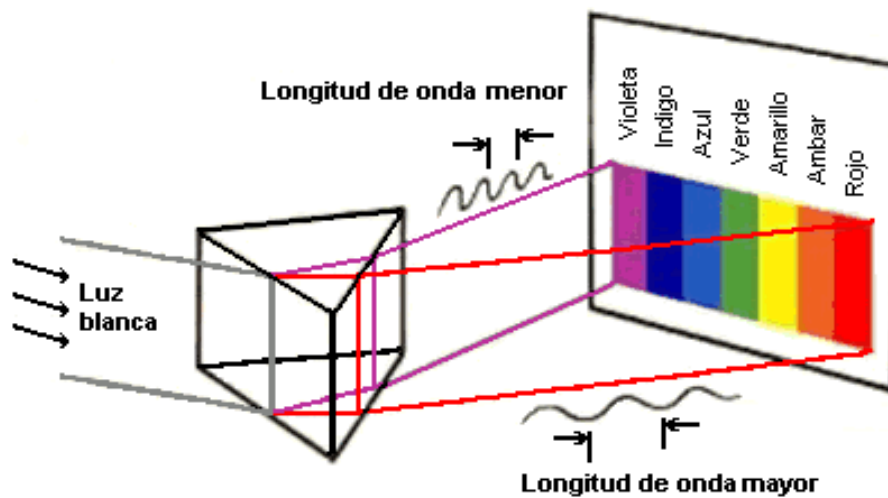


Figura 3.1. Radiaciones del espectro electromagnético.<sup>3.1</sup>

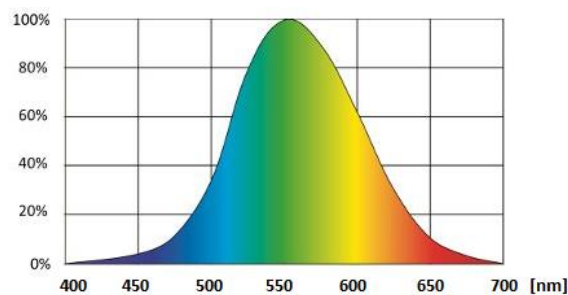
<sup>3.1</sup> Fuente: [www.fisicalab.com/apartado/luz-y-ondas-em#contenidos](http://www.fisicalab.com/apartado/luz-y-ondas-em#contenidos) y elaboración propia.

Observando la anterior figura y teniendo en cuenta la relación inicialmente descrita, se comprueba que, para una misma amplitud de onda, mayor frecuencia implica mayor energía. También se cumple que, a menor longitud de onda, mayor es la energía.



*Figura 3.2. Descomposición de la luz blanca por medio de un prisma.*<sup>3.2</sup>

El ojo humano es sensible a la luz visible, el conjunto de radiaciones electromagnéticas entre 380 y 780 nm de longitud de onda pertenecientes al espectro visible.



*Figura 3.3. Sensibilidad del ojo humano.*<sup>3.3</sup>

Entre ambos extremos se encuentran todos los colores del arco iris.

- **Radiación:** emisión o transporte de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas. [5]
- **Energía radiante:** energía emitida, transportada o recibida en forma de ondas electromagnéticas o partículas. [6]

<sup>3.2</sup> Fuente: <http://unicrom.com/wp-content/uploads/prisma.gif>

<sup>3.3</sup> Fuente: <http://www.premiumlight.eu/index.php?page=perception-of-light-12>

### 3.2.1. Radiación de fuente con espectro continuo: Incandescencia [3]

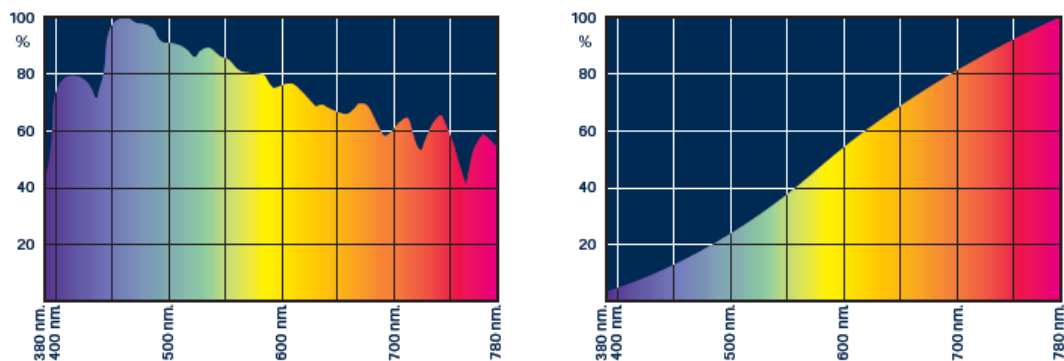
La incandescencia o termorradiación, es la radiación de calor y luz emitida por un cuerpo caliente. Todo cuerpo, a cualquier temperatura que no sea cero absoluto, emite energía en un amplio campo de longitudes de onda.

Las lámparas incandescentes, fuente de luz artificial más común, pertenecen a este tipo de fuente. Otros ejemplos son la llama de una combustión, como la de una vela, o un lingote de acero caliente al rojo vivo.

Para obtener la distribución espectral<sup>1</sup> se emplea el espectrorradiómetro.



*Figura 3.4. Espectrorradiómetro.*<sup>3.4</sup>



*Figura 3.5. Distribución espectral de la luz del día y una lámpara incandescente.*<sup>3.5</sup>

<sup>1</sup> Distribución de la potencia radiada entre las longitudes de onda.

<sup>3.4</sup> Fuente: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/32447-2329947.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/32447-2329947.jpg)

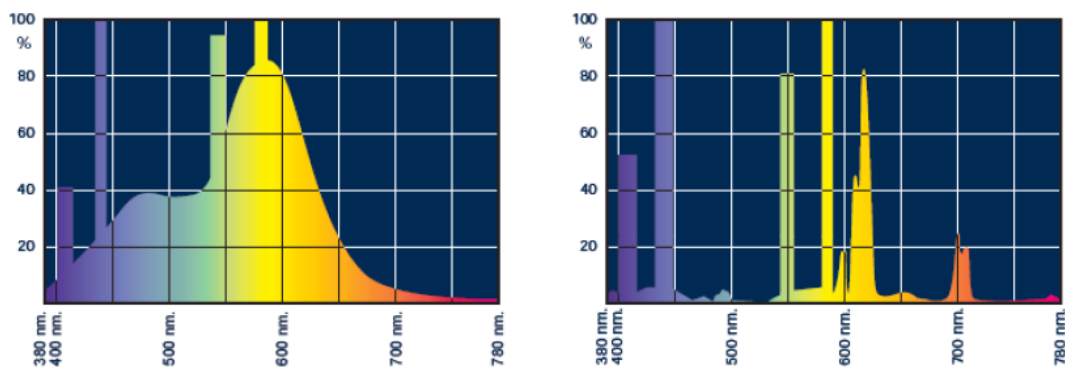
<sup>3.5</sup> Fuente: <https://es.slideshare.net/aicvigo1973/la-luz-15825760>

### 3.2.2. Radiación de fuente con espectro discontinuo: Luminiscencia [3]

La luminiscencia es la emisión de luz a partir de la energía radiante de una fuente de descarga gaseosa<sup>2</sup>. Es una radiación formada por pequeños intervalos de longitud de onda denominados picos de emisión. Este tipo de radiación, en contraste a la incandescencia, no depende de la temperatura.

A este tipo de fuente pertenecen los tubos fluorescentes, las lámparas de vapor de mercurio o sodio o las lámparas de inducción.

También se utiliza el espectrorradiómetro para obtener la distribución espectral.



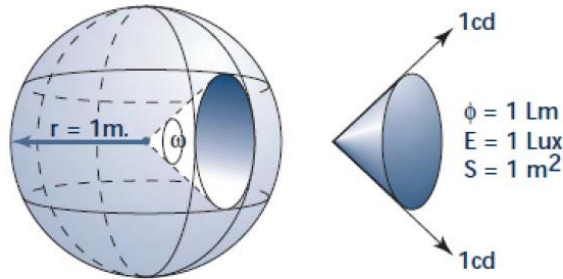
*Figura 3.6. Distribución espectral de una lámpara fluorescente de color blanco frío y de una lámpara de vapor de mercurio de color corregido.*<sup>3,6</sup>

<sup>2</sup> Vapor de sodio/mercurio/argón/neón/etc.

<sup>3,6</sup> Fuente: <https://es.slideshare.net/aicvigo1973/la-luz-15825760>

### 3.3. Magnitudes físicas fundamentales [3]

- **Estereorradián(sr):** es la unidad del ángulo sólido, equivalente tridimensional del radián.



$$\omega \text{ (total)} = 4\pi \text{ estereorradianes}$$

**Figura 3.7. Ángulo sólido.**<sup>3.7</sup>

- **Flujo luminoso ( $\phi$ ):** “es la energía radiada que recibe el ojo medio humano según su curva de sensibilidad y que transforma en luz durante un segundo.” [7] Mide la potencia luminosa percibida. Es una magnitud escalar y se mide en lumen [lm].

$$\phi = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}} \rightarrow [\text{J/s}] = [\text{lm}]$$

A mayor energía, mayor flujo luminoso.

- **Lumen:** “es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido de un estereorradián por una fuente puntual uniforme que, situada en el vértice del ángulo sólido, tiene una intensidad luminosa de 1 candela.” [8]

Es la unidad de flujo luminoso.

$$\phi = K_m \frac{d\phi_e}{d\lambda} \int V(\lambda) [\text{lm}]$$

$$1\text{W de luz } (\lambda = 555\text{nm}) \text{ en el aire } \approx 683 \text{ lm}$$

Otras unidades equivalentes son:

$$1 \text{ lm} = \text{cd} \cdot \text{sr} = \text{lx} \cdot \text{m}^2$$

<sup>3.7</sup> Fuente: [www.cad-projects.org/4.3.3-manual\\_luminotecnia/luz\\_archivos/angulo\\_solido.png](http://www.cad-projects.org/4.3.3-manual_luminotecnia/luz_archivos/angulo_solido.png)



- **Intensidad luminosa (I):** “es el cociente entre el flujo luminoso que abandona una superficie y se propaga por un elemento de ángulo sólido que contiene la dirección, y este elemento de ángulo.”

Es una magnitud vectorial y se mide en candelas [cd].

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \text{ [cd]}$$

- **Candela (cd):** “es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de  $f = 540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$  y cuya intensidad energética en dicha dirección es  $1/683 \text{ W}$  por estereorradián.” [8]
- **Curvas fotométricas:** “distribución de las intensidades luminosas en los distintos planos del espacio, y según las diferentes direcciones en cada uno de estos planos que pasan por el centro fotométrico de la fuente luminosa.” También se denominan curvas de distribución luminosa.

A partir de la curva fotométrica de una fuente de luz se puede definir con detalle la intensidad luminosa en cualquier dirección, dato preciso al realizar ciertos cálculos de iluminación.

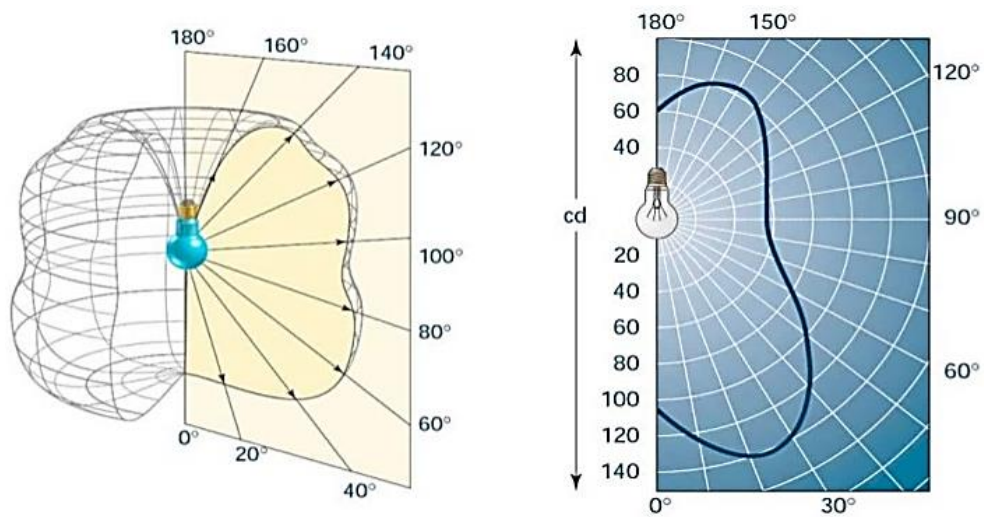
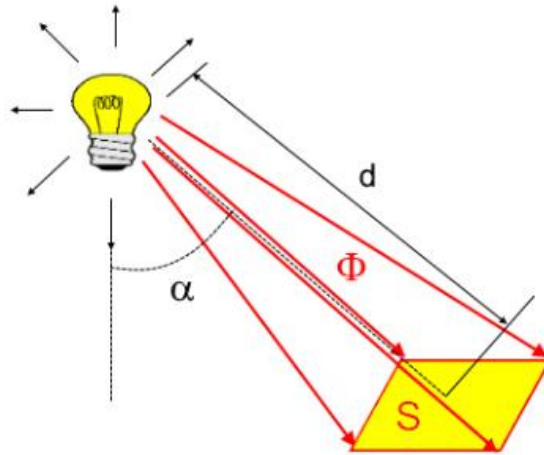


Figura 3.8. Sólido fotométrico de una lámpara incandescente.<sup>3.8</sup>

<sup>3.8</sup> Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/Iluminotecnia-120314063100-phpapp01/95/1-luminotecnia-24-728.jpg?cb=1331707581>

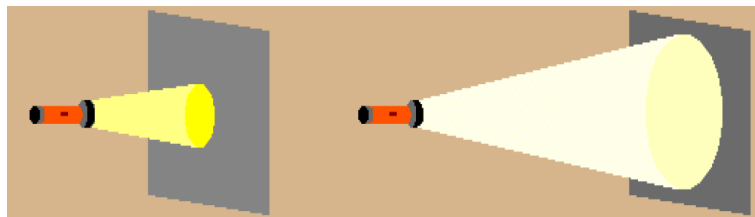
- **Iluminancia (E):** también denominado nivel de iluminación. Es el flujo luminoso que incide sobre un elemento entre el área de dicho elemento. Es una magnitud escalar. Se mide en lux [lx].

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I \cdot \cos \alpha}{S^2} \rightarrow [\text{lm}/\text{m}^2] = [\text{lx}]$$



**Figura 3.9. Factores iluminancia.** <sup>3.9</sup>

La iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado.



**Figura 3.10. Iluminación de un objeto cercano y otro lejano.** <sup>3.10</sup>

Se emplea el luxómetro para tomar medidas del nivel de iluminación.



**Figura 3.11. Luxómetro.** <sup>3.11</sup>

<sup>3.9</sup> Fuente: [www.comparalux.es/www/apuntes/graficos/luminancia.png](http://www.comparalux.es/www/apuntes/graficos/luminancia.png) y elaboración propia

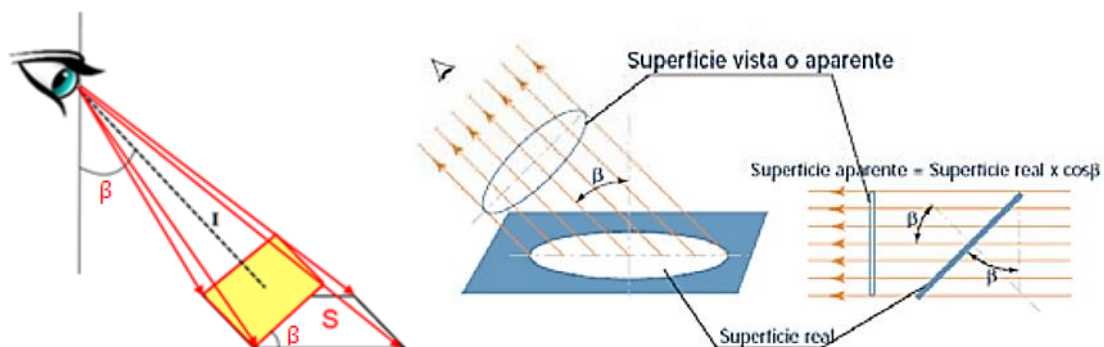
<sup>3.10</sup> Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/graficos/linter1.gif>

<sup>3.11</sup> Fuente: [https://www.tecnometrica.com.mx/images/Lux\\_\\_metro\\_1010b.jpg](https://www.tecnometrica.com.mx/images/Lux__metro_1010b.jpg)

- **Lux (lx):** es la unidad de iluminancia. *“Es la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de 1 lumen, uniformemente repartido sobre 1 metro cuadrado de la superficie.”* [8]
- **Luminancia (L):** *“es el cociente entre el flujo luminoso que abandona, alcanza o atraviesa un elemento de superficie en ese punto y que se propaga en las direcciones definidas por un cono elemental que contiene la dirección dada, y el producto del ángulo sólido del cono por el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular a la dirección dada.”* [5]  
Se mide en [cd/m<sup>2</sup>].

También designado brillo fotométrico, relaciona la intensidad luminosa radiada por unidad de superficie aparente.

$$L = \frac{d^2\phi}{d\omega \cdot dS \cdot \cos \beta} = \frac{I}{S \cdot \cos \beta} \text{ [cd/m}^2\text{]}$$



**Figura 3.12. Factores luminancia.** <sup>3.12</sup>

Se emplea el luminancímetro o nitómetro para tomar medidas de luminancia.



**Figura 3.13. Luminancímetro.** <sup>3.13</sup>

<sup>3.12</sup> Fuente: [www.comparalux.es/www/apuntes/graficos/luminancia.png](http://www.comparalux.es/www/apuntes/graficos/luminancia.png) y elaboración propia

<sup>3.13</sup> Fuente: <http://www.aquateknica.com/wp-content/uploads/2016/01/lr-1024x367.jpg>

### 3.4. Propiedades de la materia

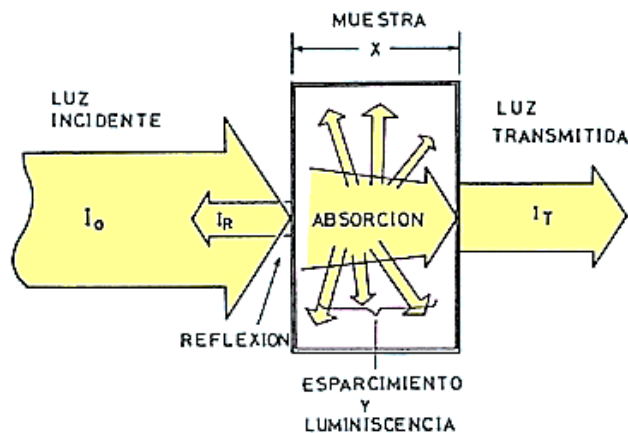
Para aplicar la luz en la forma más favorable es preciso realizar un control y distribución teniendo en cuenta los factores de reflexión, absorción, transmisión y refracción de la materia.

- **Reflexión:** “cuando un rayo de luz se propaga por un medio y alcanza el límite que lo separa de un segundo medio, y retorna al primero.” [3]
- **Absorción y transmisión:** “cuando un rayo de luz se propaga por un medio y alcanza el límite que lo separa de un segundo medio, y lo atraviesa e ingresa en este segundo medio, donde parte se convertirá en otra forma de energía (absorción) y parte no cambiará (transmisión).” [3]

#### 3.4.1. Ley de conservación del flujo

La energía no se destruye, por tanto, la suma de la energía transmitida, absorbida y reflejada es igual a la energía total incidente.

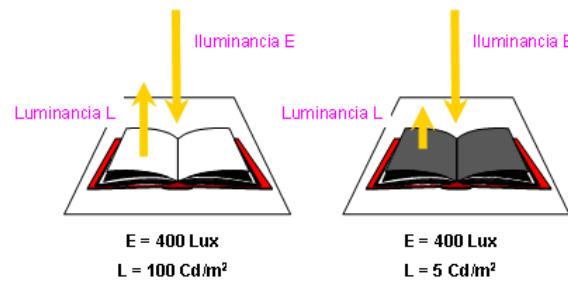
$$1 = \alpha + \rho + \zeta$$



**Figura 3.14. Reflexión, absorción y transmisión de la luz.** <sup>3.14</sup>

<sup>3.14</sup> Fuente: [http://www2.uned.es/cristamine/mineral/metodos/imagenes/espectr\\_luz-muestra.gif](http://www2.uned.es/cristamine/mineral/metodos/imagenes/espectr_luz-muestra.gif)

Teniendo en cuenta las propiedades de la materia y las diferencias entre un cuerpo blanco<sup>3</sup>, gris<sup>4</sup> y negro<sup>5</sup>, se pueden observar las diferencias en la luminancia de un material blanco y negro. [3]



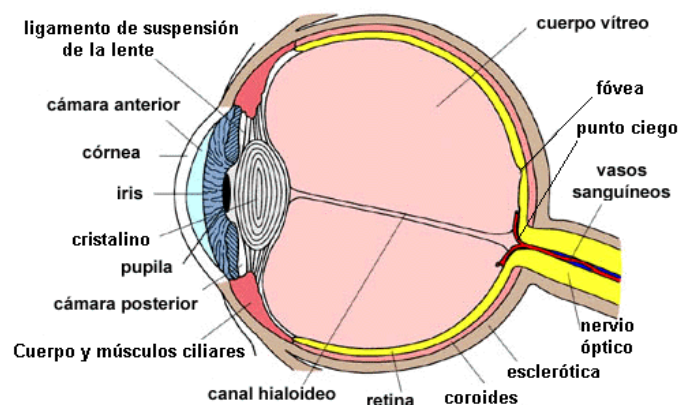
**Figura 3.15. Iluminancia y luminancia con superficie de distinto color.** <sup>3.15</sup>

### 3.5. El sistema visual humano

El sistema visual humano convierte las ondas electromagnéticas del espectro visible que llegan a los ojos, en señales nerviosas que son analizadas por el cerebro y, posteriormente, al cortex visual, donde se desarrolla la interpretación de la imagen. [9]

#### 3.5.1. El ojo humano [10]

El ojo humano es prácticamente esférico, de aproximadamente 2,5 cm de diámetro. La parte externa del ojo es opaca y el interior es translúcido.



**Figura 3.16. Partes del ojo humano.** <sup>3.16</sup>

<sup>3</sup> Cuerpo que refleja toda la luz que le llega.

<sup>4</sup> Cuerpo que refleja la mitad de la radiación que le llega y absorbe la otra mitad.

<sup>5</sup> Cuerpo que absorbe toda la luz que le llega.

<sup>3.15</sup> Fuente: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/luminancia.gif>

<sup>3.16</sup> Fuente: [http://images.slideplayer.es/3/1117763/slides/slide\\_3.jpg](http://images.slideplayer.es/3/1117763/slides/slide_3.jpg)

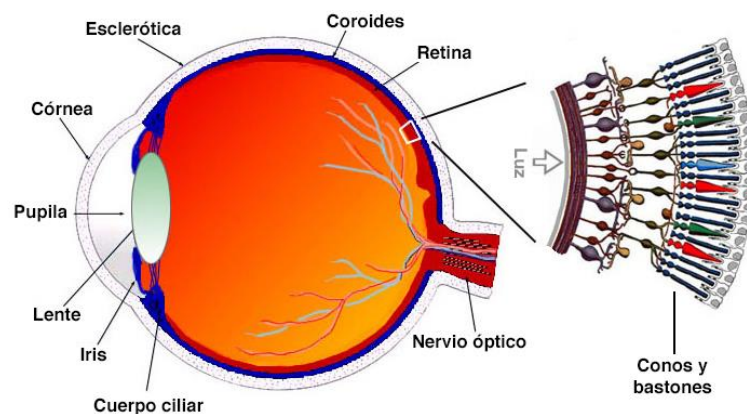
Está formada por varios elementos, entre los que destacan:

- **Córnea:** protege al cristalino y al iris. “Permite el paso de luz, que se refracta en la córnea y cristalino y se proyecta sobre la retina.”
- **Iris:** músculo radial que modifica el diámetro de la pupila, regulando la entrada de más o menos luz dependiendo de su intensidad.
- **Pupila:** es la abertura central del iris.
- **Cristalino:** “enfoca el haz de luz en la retina. Tiene forma de lente biconvexa.”
- **Retina:** “parte del ojo sensible a la luz, compuesta por los conos y los bastones, que se estimulan en función de la luz que reciben.”
- **Nervio óptico:** se encarga de transmitir los impulsos nerviosos de los bastones y conos de los ojos hasta el cerebro.

### 3.5.2. Funcionamiento del ojo humano [3]

El sistema visual se compone de mecanismos ópticos y fisicoquímicos.

- **Proceso de adaptación a la cantidad de luz:** el iris puede variar la apertura de la pupila, graduando el paso de más o menos flujo luminoso hacia la retina, modificando la sensibilidad de la retina.

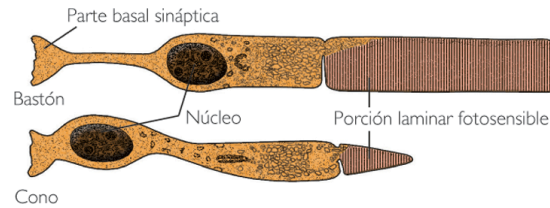


**Figura 3.17. Detalle de la retina: conos y bastones.** <sup>3.17</sup>

El ojo absorbe la energía gracias a unas sustancias pigmentarias que se encuentran en células fotosensibles de la retina. Éstas tienen forma de conos y bastones, por lo que reciben ese nombre.

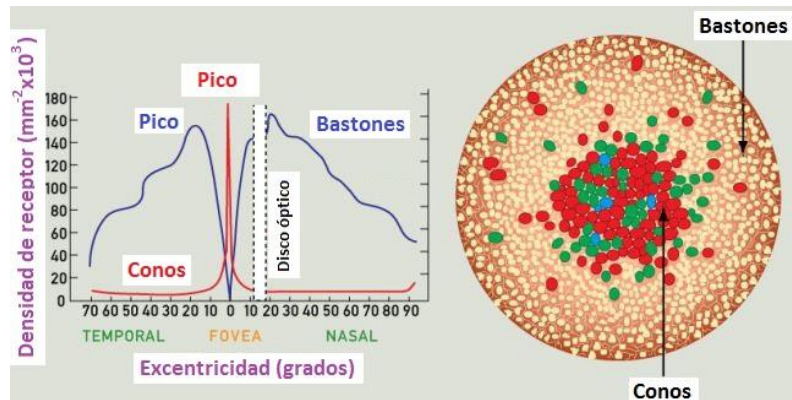
<sup>3.17</sup> Fuente: [http://www.blueconemonochromacy.org/wp-content/uploads/2011/02/1\\_ES.jpg](http://www.blueconemonochromacy.org/wp-content/uploads/2011/02/1_ES.jpg)





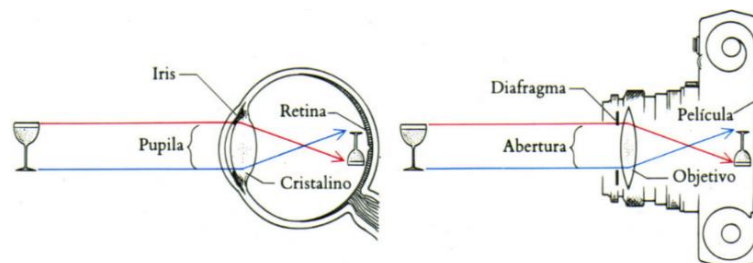
**Figura 3.18. Conos y bastones.** <sup>3.18</sup>

Conos	Bastones
Aproximadamente 8 millones por ojo	Aproximadamente 130 millones por ojo
Se concentran en la fovea (Área circular de 2,5 mm de diámetro)	Los encontramos al alejarnos de la fovea (Área circular de 2,5 mm de diámetro)
Menor sensibilidad a la luz (Precisan de niveles de iluminación altos)	Extremadamente sensibles a la luz (Permiten la visión con muy poca luz)
Triple respuesta al estímulo monocromático (Permiten la discriminación cromática)	Respuesta única al estímulo monocromático (Incapacidad de discriminación cromática)
Mayor densidad superficial (Permiten distinguir el detalle fino)	Menor densidad superficial (Imágenes con peor definición)



**Figura 3.19. Distribución de conos y bastones en la retina.** <sup>3.19</sup>

En parte, se puede comparar el funcionamiento del ojo humano y una cámara fotográfica.



**Figura 3.20. Comparación ojo humano y cámara fotográfica.** <sup>3.20</sup>

<sup>3.18</sup> Fuente: [http://ley.exam-10.com/pars\\_docs/refs/34/33854/33854\\_html\\_mba8ea68.png](http://ley.exam-10.com/pars_docs/refs/34/33854/33854_html_mba8ea68.png)

<sup>3.19</sup> Fuente: [http://leodimieri.zz.vc/imgs/Cap2/f2\\_2.jpg](http://leodimieri.zz.vc/imgs/Cap2/f2_2.jpg)

<sup>3.20</sup> Fuente: [http://lowvision.galeon.com/ojo/camara\\_ojo.jpg](http://lowvision.galeon.com/ojo/camara_ojo.jpg)

### 3.5.3. Efecto Purkinje

Como consecuencia de la variación del funcionamiento del ojo con distintos niveles de iluminación, la curva de sensibilidad espectral, la sensibilidad de la retina se modifica en función de la naturaleza del estímulo.

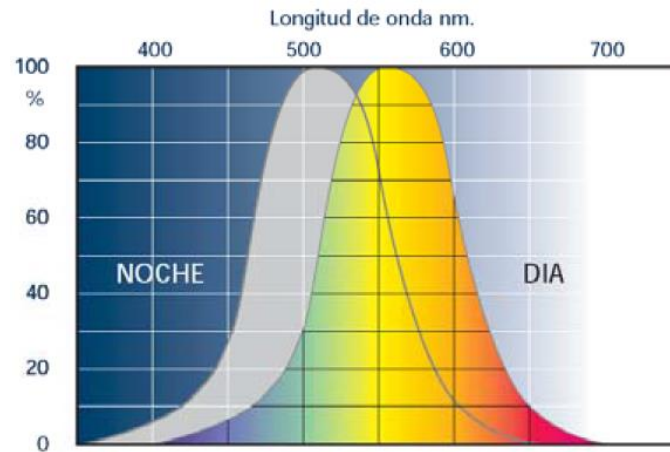


Figura 3.21. Curva escotópica y fotópica.<sup>3.21</sup>

- **Visión fotópica:** para altos niveles de iluminación, como la luz blanca del día, la máxima sensibilidad del ojo corresponde a la longitud de onda de 555 nm (color amarillo). *“Las fuentes luminosas con longitudes de onda correspondientes al amarillo-verde son las que tienen más eficacia, De aquí que en locales con alto nivel de iluminación se realcen los colores naranja y rojo.”* [3]
- **Visión mesópica:** para niveles de iluminación intermedio. *“La mayoría de los escenarios nocturnos exteriores y de alumbrado público vial se encuentran en el rango mesópico.”* [11]
- **Visión escotópica:** para bajos niveles de iluminación, como es la luz nocturna, la máxima sensibilidad del ojo se desplaza hacia longitudes de onda menores, 515 nm (efecto Purkinje) y, consecuentemente, *“las radiaciones de menor longitud de onda (azul-violeta) producen mayor intensidad de sensación con baja iluminación.”* [3]

<sup>3.21</sup> Fuente: [http://www.construmatica.com/archivos/1654/02\\_el\\_ojo.pdf](http://www.construmatica.com/archivos/1654/02_el_ojo.pdf)



### 3.6. Factores de rendimiento [3]

#### 3.6.1. Capacidad visual

*“La retina es sensible a la densidad superficial del flujo luminoso que llega a ella; estímulo que es proporcional a la magnitud denominada luminancia, cuya correspondiente sensación recibe la denominación de “luminosidad” o “brillo”. ”*

Como el sistema visual no tiene la capacidad de proporcionar información útil cuando la retina está uniformemente iluminada, se supone como labor principal del ojo el percibir el contraste.

#### 3.6.2. Percepción del contraste

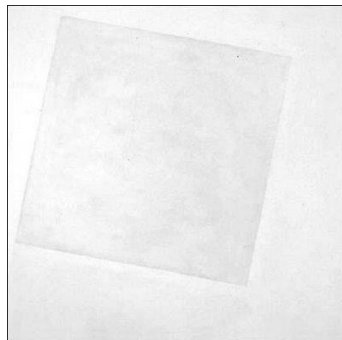
El ojo humano no mide magnitudes luminosas, solo es capaz de comparar luminancias. Gracias a esta capacidad de diferenciar brillos, tonos, temperaturas o percibir el contraste, son posibles el resto de capacidades del sistema visual.

El contraste es la diferencia de luminancias en relación con la luminancia mayor:

$$C = \frac{L_f - L_d}{L_f}$$

Donde:

- $L_f$  es la luminancia de fondo
- $L_d$  es la luminancia de detalle



**Figura 3.22. Cuadro blanco sobre fondo blanco.** <sup>3.22</sup>

---

<sup>3.22</sup> Fuente: <https://josemgghistoriadeldisenio.files.wordpress.com/2014/01/malevich-blanco-sobre-blanco.jpg>

Por ejemplo, el contraste entre un objeto y el fondo, ambos con brillo constante, será nulo. Por tanto, el objeto no se diferenciará del fondo. Aumentando la diferencia de brillo entre ambas superficies se alcanzará el umbral de contraste<sup>6</sup>, pudiéndose distinguir la figura del fondo.

- **Contraste de contorno e iluminancia:** Ley de Lambert: *“la luminancia de las superficies difusoras perfectas es constante en todas direcciones e igual al producto de la iluminancia por la reflectancia dividida por  $\pi$ .”*

$$C = \frac{L_f - L_d}{L_f} \text{ y } L = \frac{E \cdot \rho}{\pi} \rightarrow C = \frac{\rho_f - \rho_d}{\rho_f}$$

Donde:

- E es la iluminancia
- $\rho$  es la reflectancia
- $\rho_f$  es la reflectancia de fondo
- $\rho_d$  es la reflectancia de detalle

Se denomina emisores o difusores “perfectos” a las superficies emisoras o difusas que dan la misma sensación de claridad al observarlas desde diferentes ángulos.

Generalmente se confirma que las iluminancias de fondo y de detalle son similares y que las superficies de la tarea son perfectamente difusoras.

- **Contraste de detalle e iluminancia:** *“si una tarea requiere un análisis detallado de su textura superficial, la falta de un buen contraste se puede compensar en parte aumentando el nivel de iluminancia.”*



**Figura 3.23. Contraste de detalle e iluminancia.** <sup>3.23</sup>

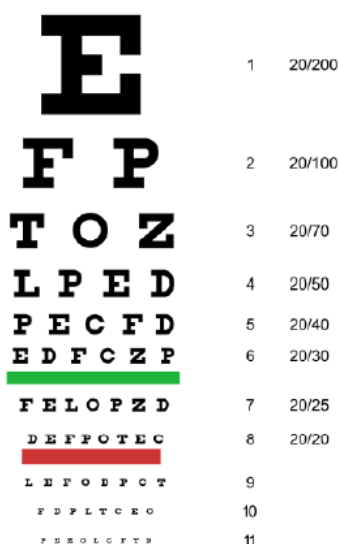
<sup>6</sup> El umbral de contraste se sitúa alrededor del 0,3% de diferencia de brillo.

<sup>3.23</sup> Fuente: [http://www.construmatica.com/archivos/1654/01\\_la\\_luz.pdf](http://www.construmatica.com/archivos/1654/01_la_luz.pdf)

### 3.6.3. Agudeza visual

*“La agudeza visual es la capacidad del sistema de visión para percibir, detectar o identificar objetos espaciales con unas condiciones de iluminación buenas. Para una distancia al objeto constante, si se ve nítidamente una letra pequeña, tiene más agudeza visual que otro que no la ve.” [3]*

Para examinar la agudeza visual, el paciente debe leer a 6 metros de distancia el test de Snellen, un conjunto de filas de letras de tamaño decreciente. El examen se realiza con un ojo tapado y, a continuación, se repite la operación con el ojo contrario. *“Se considera que una persona tiene una “visión normal” o del 100% cuando puede distinguir con comodidad las letras de la línea 8 de la tabla. Si, por el contrario, sólo llega a distinguir los caracteres de la línea 5 se considera que tiene una visión débil, un 50% de visión.” [12]*



**Figura 3.24. Test de Snellen.** <sup>3.24</sup>

<sup>3.24</sup> Fuente: <http://www.ibo.es/wp-content/uploads/2015/07/test-snellen.jpg>

## Capítulo 4

# Magnitudes luminotécnicas

### 4.1. Temperatura de color

La temperatura de color es una medida relativa, ya que no expresa una medida de temperatura, sino que es la temperatura a la que el cuerpo negro presenta una apariencia de color similar. Se expresa en grados Kelvin [K].

Temperatura de color [K]	Apariencia de color
> 5.300	Fría (azulada)
3.300 - 5.300	Neutra
< 3.300	Cálida (rojiza)

**Tabla 4.1. Temperatura y apariencia de color.** <sup>T 4.1</sup>

Seleccionando las correctas temperaturas de color indicadas para cada tipo de ambiente, se logra adecuar la iluminación para cada actividad.

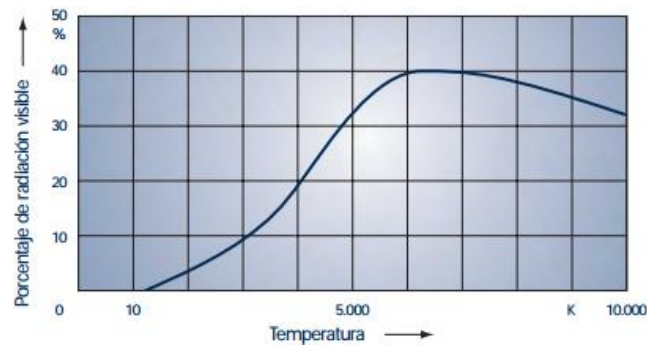


**Figura 4.1. Escala temperatura de color.** <sup>4.1</sup>

<sup>T 4.1</sup> Fuente: [www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/](http://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/) y elaboración propia

<sup>4.1</sup> Fuente: <http://estudiomatmata.es/sites/default/files/color-temperature-scale2.png>

El porcentaje de radiación visible aumenta en función de la temperatura de radiador, alcanzándose a 6500 K el máximo rendimiento posible (40%).

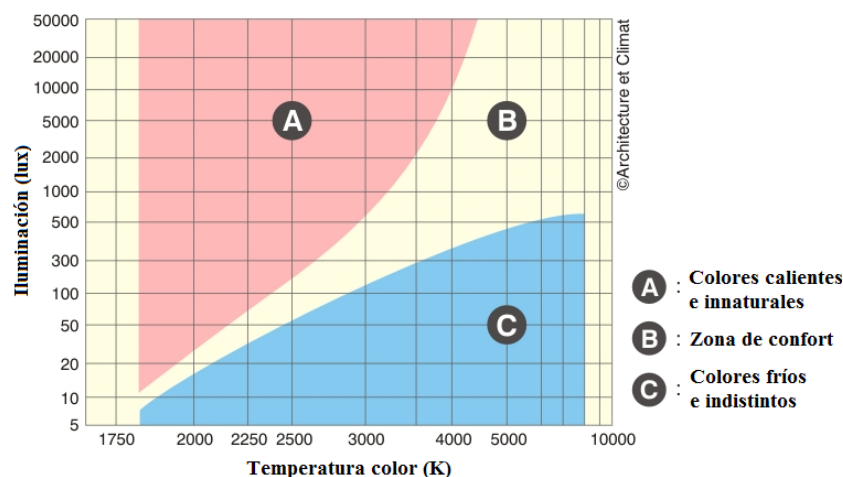


**Figura 4.2. Relación porcentaje de radiación visible frente a temperatura.** <sup>4.2</sup>

#### 4.1.1. Curvas de Kruithof

Al relacionar la temperatura de color con el nivel de iluminación se encuentran las curvas de Kruithof, que delimitan una zona en la que la combinación de ambos parámetros.

*“Mediante observaciones empíricas se definió una curva de bienestar, donde se representa la influencia psicológica de la temperatura de color sobre el nivel de iluminación. La curva muestra como para temperaturas de color elevadas, el nivel de iluminancia también debe ser elevado para conseguir sensación de confort. Aunque es posible la sensación de confort cuando el nivel de iluminación es bajo, si la temperatura de color también lo es”. [13]*



**Figura 4.3. Curvas de Kruithof.** <sup>4.3</sup>

<sup>4.2</sup> Fuente: [http://www.construmatica.com/archivos/1654/08\\_lamparas.pdf](http://www.construmatica.com/archivos/1654/08_lamparas.pdf)

<sup>4.3</sup> Fuente: <https://www.educate-sustainability.eu/kb/sites/www.educate-sustainability.eu.portal/files/images/TempCouleurRecommandee.jpg> y elaboración propia

## 4.2. Índice de Reproducción Cromática

El IRC o Ra indica el efecto cromático que la luz emitida por una fuente luminosa produce sobre los objetos. Su valor se fija comparándolo con el producido por una fuente luminosa patrón que se tome como referencia.

Solo se puede comparar el IRC de diferentes fuentes de luz si tienen la misma temperatura de color. “Así, dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.” [3]

IRC	
%	Nivel de reproducción
85-100	Excelente
70-84	Bueno
40-69	Regular
<40	Malo

El IRC tiene una escala de 0 a 100, donde el máximo IRC significa una reproducción cromática ideal, como la existente bajo luz diurna. Para la mayoría de aplicaciones, debe considerarse como mínimo un CRI 80.



Figura 4.4. Comparativa IRC 90, 80 y 60. <sup>4.4</sup>



Figura 4.5. Marca 840 en tubo fluorescente de 18W. <sup>4.5</sup>

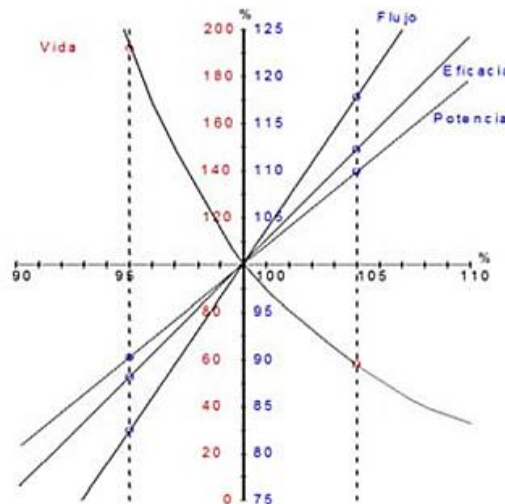
La marca 840 del tubo fluorescente de la Figura 4.4 indica un IRC de 80 a 89 y una temperatura de color de 4000K.

<sup>4.4</sup> Fuente: <http://www.vesled.com/image//news/comparativa-cri-es.jpg>

<sup>4.5</sup> Fuente: <http://distribucioneselectricas.com/7437/25-tubos-fluorescentes-18w-840-blanco-neutro-master-tl-d-philips-63171840.jpg>

### 4.3. Vida útil

Es el tiempo que dura en funcionamiento una muestra de fuentes luminosas de un tipo determinado y se mantiene suministrando un flujo luminoso superior o igual al 80% del valor nominal.



**Figura 4.6. Diagrama tensión - vida útil.** <sup>4,6</sup>

Debido a la larga vida útil de la tecnología LED, éstos se ensayan según la normativa LM-80 de la IES<sup>7</sup> de los EE.UU. por períodos relativamente cortos y, mediante la normativa TM-21 se extrapolan los resultados para períodos de tiempo más largos.

Por ejemplo, el indicador  $50.000 h_{L80B10}$  indica que, tras 50.000 horas de funcionamiento, el 10% de los equipos tendrán un fulgo luminoso por debajo del 80% de su valor nominal, incluidos los que han fallado y tienen flujo cero. [13]

### 4.4. Vida media de la lámpara

Para estudiar la vida media de la lámpara, se toma una muestra adecuadamente amplia de lámparas y se hacen poner en funcionamiento<sup>8</sup>. Posteriormente se mide el intervalo de tiempo entre su activación hasta que cesa el funcionamiento del 50% de lámparas.

<sup>4,6</sup> Fuente: [http://www.construmatica.com/archivos/1654/08\\_lamparas.pdf](http://www.construmatica.com/archivos/1654/08_lamparas.pdf)

<sup>7</sup> Asociación de Ingeniería de Iluminación.

<sup>8</sup> Funcionamiento de acuerdo al protocolo marcado por la norma.

### 4.5. Eficacia luminosa o rendimiento luminoso

La eficacia luminosa o rendimiento luminoso de una fuente de luz, expresa el flujo que emite la fuente de luz por unidad de potencia eléctrica consumida para haberla obtenido.

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{P} [lm/W]$$

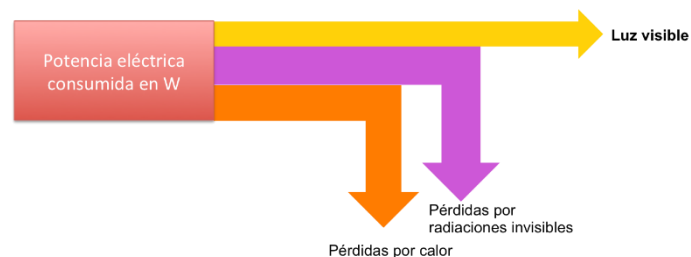
Los fabricantes dan un valor de eficacia luminosa a un determinado nivel de iluminación, pero solo tienen en cuenta la visión fotópica. Por tanto, para obtener el valor real de eficacia luminosa es necesario saber el factor S/P<sup>9</sup> y el flujo luminoso que necesita la instalación. Introduciendo datos en la ecuación, se obtienen los lúmenes necesarios para la visión mesópica, la cual usamos con la iluminación artificial. [14]

### 4.6. Eficiencia energética o rendimiento energético

Habitualmente se confunden los términos eficiencia luminosa y energética. Erróneamente se consideran lo mismo, pero no lo son.

Es importante diferenciar entre potencia luminosa y radiante. La potencia radiante es la potencia total emitida por una lámpara, incluyendo la potencia luminosa.

Por ejemplo, la potencia radiante de una lámpara incandescente de 40W es aproximadamente 40W, ya que solo se restan las pequeñas pérdidas de calor de la potencia consumida (W). La potencia que se irradia está formada principalmente por radiación infrarroja (calor, W) y solo un 5% es radiación visible (lm).



**Figura 4.7. Pérdidas de la potencia eléctrica consumida.** <sup>4.7</sup>

<sup>9</sup> El factor S/P es un ratio que indica la variación de eficacia luminosa a medida que el ojo se adapta a la visión nocturna. A menor temperatura de color, mayor será el factor S/P.

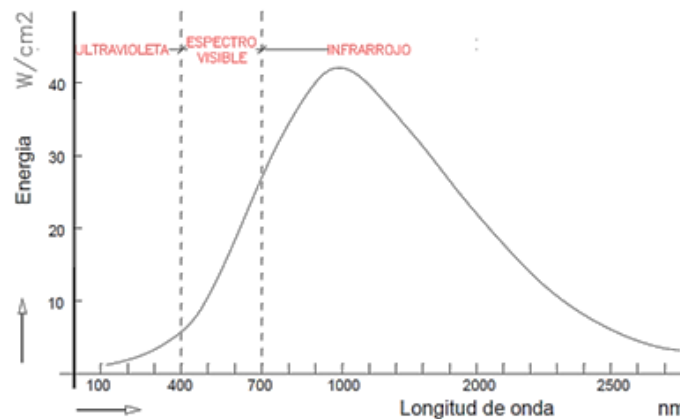
<sup>4.7</sup> Fuente: <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/imagenes/perdidasRendimientoLuminoso.png>



Teniendo en cuenta solo la energía de radiación, la eficiencia de la bombilla será el resultado de la relación entre la energía radiante y la potencia consumida.

$$\eta = \frac{5\% \text{ de } 40\text{W}}{40\text{W}} \cdot 100 = 5\%$$

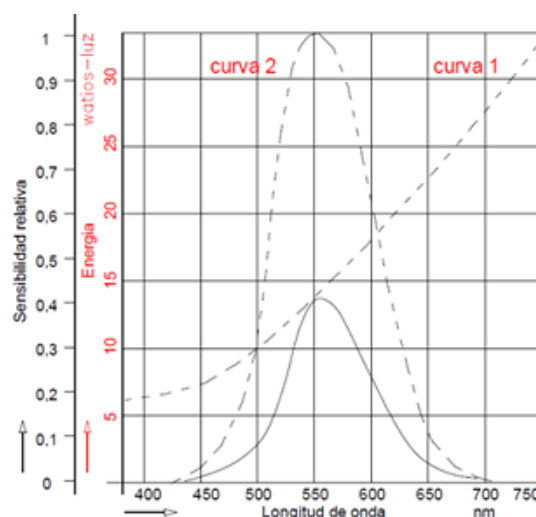
Pero de ese 5% de luz producida, un 88% es luz infrarroja invisible al ojo humano y un 12% es luz visible.



**Figura 4.8.** Gráfica sensibilidad relativa frente a energía y longitud de onda. <sup>4.8</sup>

Por tanto, realmente el cálculo realizado es erróneo y, aunque únicamente se calculase la energía emitida dentro del espectro visible, se seguiría cometiendo un error, ya que el ojo humano es más sensible a la luz verde que a la luz violeta o al rojo profundo.

*“Las típicas afirmaciones que se hacen de que tal o cual bombilla transforma el 90% de la energía eléctrica en luz o que tienen una eficiencia del 90% no sirven para nada.” [14]*



**Figura 4.9.** Gráfica sensibilidad relativa frente a energía y longitud de onda. <sup>4.9</sup>

<sup>4.8</sup> Fuente: [bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/imgs/73\\_30.gif](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/imgs/73_30.gif)

<sup>4.9</sup> Fuente: [bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/imgs/73\\_56.gif](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/073/imgs/73_56.gif)

La eficiencia energética se mide en % de la potencia total consumida. Algunos valores típicos de rendimiento luminoso y rendimiento energético son:

Fuente	Eficacia [lm/W]	Eficiencia [%]
<b>Incandescente</b>	3-18	5-10
<b>Halógena</b>	3-22	8-15
<b>Fluorescente</b>	54-104	20-30
<b>Bajo consumo</b>	52-76	20-30
<b>Descarga alta presión</b>	33-126	14-60
<b>LED</b>	50-120	60-85

*“La potencia radiada se mide en unidades radiométricas, mientras que la potencia visible se mide en unidades fotométricas, no existiendo una relación directa sencilla entre ellas.” [15]*

Por tanto, una fuente eficiente es aquella que produce luz con una longitud de onda perteneciente al espectro visible con alto valor de lúmenes y bajo valor de consumo, teniéndose también en cuenta que su resultado variará dependiendo de las diferentes longitudes de onda pertenecientes al espectro visible.

La alta eficiencia energética y vida útil de la tecnología LED son las bases fundamentales de este proyecto.

#### 4.7. Depreciación del flujo [13]

Es la pérdida de iluminancia que sufre la instalación a lo largo de uso.

Según la CIE<sup>10</sup>, los factores que influyen en estas pérdidas son:

- *“Fallo por mortalidad o mal funcionamiento de los componentes.*
- *Acumulación de polvo y suciedad en el exterior de la luminaria.*
- *Deterioro y envejecimiento de la parte interior de la lámpara.*
- *Variaciones de temperatura elevadas.*
- *Fallo prematuro del equipo auxiliar.*
- *Voltaje incorrecto entre bornes.*
- *Fallos de la instalación.”*

---

<sup>10</sup> Comisión Internacional de Iluminación.

Para mantener un mínimo valor permitido, se diseña un plan de mantenimiento de las instalaciones, que incluye la limpieza y reemplazamiento de luminarias con relativa frecuencia.

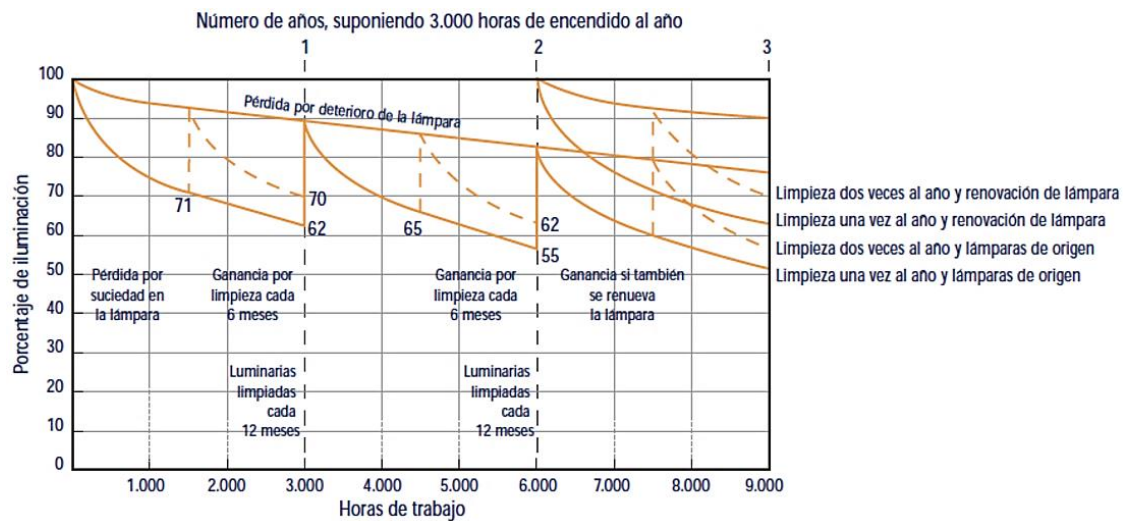


Figura 4.10. Factor de conservación.<sup>4.10</sup>

## 4.8. Deslumbramiento

*“Fenómeno debido a la existencia de luminancias excesivas y/o relaciones de luminancia desproporcionadas dentro del campo de visión.” [3]*

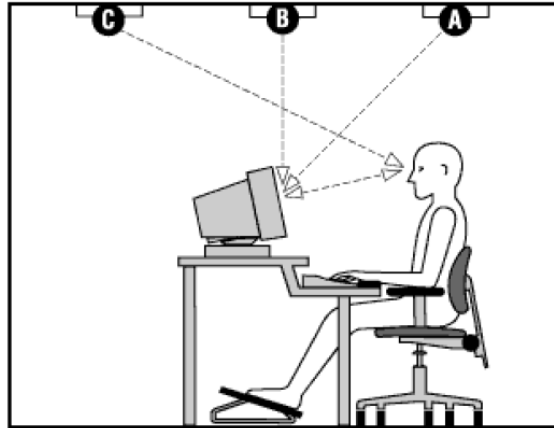
- **Deslumbramiento directo:** se produce cuando existen luminarias de gran luminancia dentro del campo visual. Este deslumbramiento se puede ser:
  - **Molesto:** provocado por problemas de relaciones de luminancias. En el campo visual hay fuentes de luz con una intensidad más elevada que las otras.
  - **Incapacitivo:** cuando la intensidad imposibilita ver el resto del campo visual.
  - **Irreversible:** conlleva daños fisiológicos irreversibles.
- **Deslumbramiento indirecto:** cuando se produce la reflexión de una fuente luminosa sobre la superficie que se observa.

Las luminarias más cercanas al observador, son las que más riesgo tienen de causarlo.

<sup>4.10</sup> Fuente: [grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-luminarias-mantenimiento.php](http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-luminarias-mantenimiento.php)

*“El ángulo más importante (para tareas en el plano horizontal) es el comprendido entre los 20° y 40° desde la vertical y el más crítico 25°, cuando la tarea se realiza sobre una mesa.” [3] El deslumbramiento indirecto puede ser:*

- **Reflejado:** cuando se origina en superficies reflectantes especulares.
- **De velo:** cuando se origina en superficies reflectantes difusas.



*Figura 4.11. Deslumbramiento.*<sup>4.11</sup>

#### 4.8.1. Ratio Unificado de Deslumbramiento [16]

El Ratio Unificado de Deslumbramiento o UGR<sup>11</sup> es un parámetro creado por la CIE con el objetivo de unificar los diferentes métodos de evaluación de este deslumbramiento, tratando de describir una percepción subjetiva en términos medibles.

*“El deslumbramiento molesto es subjetivo y relativo, no impide la visión de los objetos, pero perturba la visión y produce fatiga.”*

*“Para evaluar el deslumbramiento, el método UGR considera el deslumbramiento potencial de todas las luminarias dentro del campo visual de un observador, arrojando un resultado con un valor que oscila entre 10 y 30 separados por 3 unidades (10, 13, 16, 19, 22, 25 y 28), siendo mayor el deslumbramiento cuanto más alto es el valor.”*

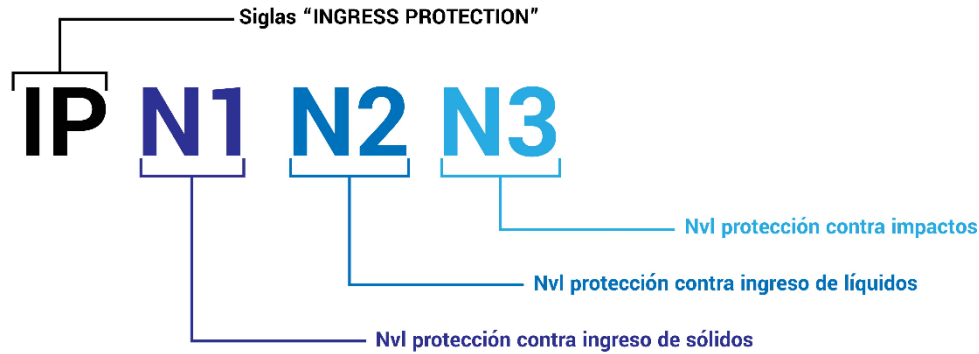
La norma europea de iluminación en los lugares de trabajo EN 12464-1, exige un valor UGR para cada aplicación, fijando unos valores límites que las instalaciones de iluminación no deben sobrepasar.

<sup>4.11</sup> Fuente: <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/imagenes/deslumbramientoDirectoYReflejado.png>

<sup>11</sup> Unified Glare Rating

## 4.9. Grados de protección IP e IK

“El grado IP (*Ingress Protection*) relativo a la iluminación es un parámetro que mide el grado de protección de las luminarias.” [17]



**Figura 4.12. Grado de protección IP-K.** <sup>4.12</sup>

“La norma IEC 60529 establece cómo clasificar los grados de protección proporcionados por los contenedores que resguardan los materiales eléctricos de su equipo, con tensión nominal inferior a 72,5 kV.” [18]

Cuando se desconozca o no sea necesario una de las cifras del grado de protección, se reemplaza por “X”.

La primera cifra del código IP indica la protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños.

1ª Cifra	Protección
<b>IP 0X</b>	Ninguna protección
<b>IP 1X</b>	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones > 50 mm
<b>IP 2X</b>	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones > 12 mm
<b>IP 3X</b>	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones > 2,5 mm
<b>IP 4X</b>	Aparatos protegidos contra cuerpos sólidos de dimensiones > 1 mm
<b>IP 5X</b>	Aparatos protegidos contra el polvo
<b>IP 6X</b>	Aparatos completamente protegidos contra el polvo

**Tabla 4.2. Primera cifra característica grado protección IP.** <sup>T 4.2</sup>

<sup>4.12</sup> Fuente: [http://gelfor.es/wp-content/uploads/2016/09/ip\\_fin-01.jpg](http://gelfor.es/wp-content/uploads/2016/09/ip_fin-01.jpg)








<sup>T 4.2</sup> Fuente: [www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/](http://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/) y elaboración propia

La segunda cifra del código IP indica la protección contra la penetración del agua.

2ª Cifra	Protección
<b>IP X0</b>	Ninguna protección
<b>IP X1</b>	Aparato protegido contra la caída vertical de gotas de agua
<b>IP X2</b>	Aparato protegido contra caída de gotas de agua con máx. inclinación 15°
<b>IP X3</b>	Aparato protegido contra la lluvia con caída hasta 60° de inclinación
<b>IP X4</b>	Aparato protegido contra el rociado de agua
<b>IP X5</b>	Aparato protegido contra los chorros de agua
<b>IP X6</b>	Aparato protegido contra las olas y chorros de agua potentes
<b>IP X7</b>	Aparato protegido contra los efectos de la inmersión temporal
<b>IP X8</b>	Aparato protegido contra los efectos de la sumersión

**Tabla 4.3. Primera cifra característica grado protección IP.** <sup>T 4.3</sup>

También existen símbolos que indican el grado de protección de los equipos de manera gráfica.

Símbolo	Referencia	Descripción
	IP5-	Malla sin recuadro contra agentes sólidos.
	IP6-	Malla con recuadro contra agentes sólidos.
	IP-1	Una Gota.
	IP-3	Una Gota dentro de un cuadro.
	IP-4	Una gota dentro de un triángulo.
	IP-5	Dos gotas dentro de dos triángulos.
	IP-7	Dos gotas de agua.
	IP-8	Dos gotas seguidas por la indicación de profundidad máxima en metros.

**Tabla 4.4. Símbolos grado protección IP.** <sup>T 4.4</sup>

<sup>T 4.3</sup> Fuente: [www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/](http://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/) y elaboración propia

<sup>T 4.4</sup> Fuente: <http://www.iluminet.com/press/wp-content/uploads/2008/10/ip-3.png>

El grado IK mide el grado de protección contra los impactos mecánicos externos, proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos.

Grado IK	Protección, energía de impacto [J]
IK 00	-
IK 01	0,15
IK 02	0,2
IK 03	0,35
IK 04	0,5
IK 05	0,7
IK 06	1
IK 07	2
IK 08	5
IK 09	10
IK 10	20

*Tabla 4.5. Cifra característica grado protección IK. <sup>T 4.5</sup>*

---

<sup>T 4.5</sup> Fuente: UNE-EN 50102 y elaboración propia

## Capítulo 5

# Tecnologías de iluminación, control y regulación del flujo luminoso

En el presente capítulo se realiza una clasificación de las tecnologías de iluminación actualmente implantadas en el campus, así como la tecnología propuesta como mejora, junto a su control y regulación, indicando también sus presentaciones más habituales.

### 5.1. Tecnologías de iluminación [19]

#### 5.1.1. Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes convencionales son dispositivos que producen luz a partir del calentamiento por efecto Joule<sup>12</sup> de un filamento metálico hasta alcanzar el rojo blanco<sup>13</sup>, gracias al paso de una corriente eléctrica.

Este tipo de lámparas se conectan directamente a la red, sin necesidad de un equipo auxiliar.

Sus características principales son:

---

<sup>12</sup> Parte de la energía cinética del paso de corriente eléctrica genera calor. ( $P = I^2 \cdot R$ )

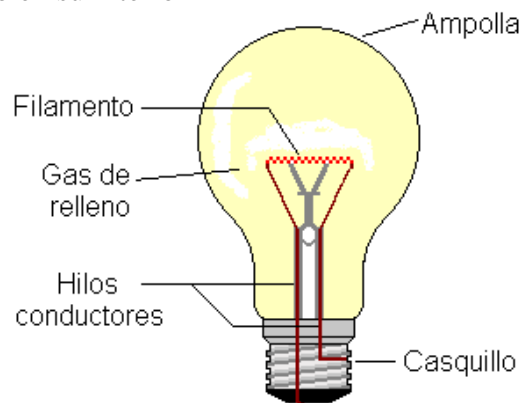
<sup>13</sup> Temperatura muy alta, más allá del rojo vivo.



- **Baja eficacia:** se obtiene poca energía luminosa en comparación con la energía calorífica que irradia.
- **Baja vida útil (1000-4000h) debido a una alta depreciación luminosa:** a mayor temperatura de trabajo del filamento se obtiene más flujo luminoso, pero el material se evapora más rápido. Éste se deposita en la ampolla y la ensucia, reduciendo el flujo luminoso. Además, cuanto más pequeño sea el filamento, menor será el flujo luminoso, hasta que finalmente se rompa y deje de realizar su función.
- **No ofrece una buena reproducción de los colores:** aunque tenga IRC 100, no emite en la zona de colores fríos.
- **Color cálido**
- **Bajo coste**

Existen dos tipos de lámparas incandescentes:

- Con gas halógeno en su interior
- Sin gas halógeno en su interior



*Figura 5.1. Partes de una lámpara incandescente.*<sup>5.1</sup>

- **Filamento:** fabricado en wolframio<sup>14</sup>, también conocido como tungsteno, tiene un alto punto de fusión (3655 K) y bajo grado de evaporación. Para evitar que se deteriore, se cubre con una ampolla de vidrio que está al vacío o rellena con un gas inerte.
- **Gas de relleno:** argón y nitrógeno, reduciendo la evaporación del filamento.
- **Ampolla:** es la cubierta de vidrio sellado que evita que el filamento y gas de relleno tenga contacto con el exterior.
- **Casquillo:** conecta con el portalámparas y permite conectar la bombilla con el circuito eléctrico.

<sup>5.1</sup> Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/graficos/1-3graf1.gif>

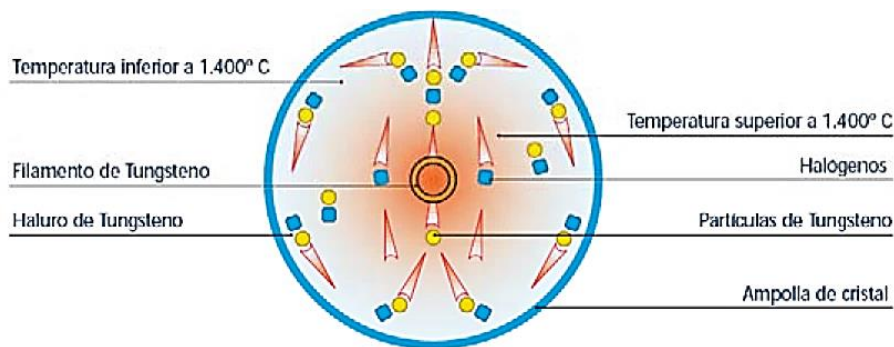
<sup>14</sup> También llamado tungsteno, tiene un alto punto de fusión y bajo grado de evaporación

### 5.1.2. Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas son radiadores térmicos con regeneración del filamento en vapor halógeno.

La alta temperatura del filamento de una lámpara incandescente provoca que las partículas de wolframio se evaporen y se condensen en la pared de la ampolla, oscureciéndola. El wolframio evaporado, combinado con el halógeno (yodo, cloro, bromo) forma un compuesto wolframio halógeno que previene dicho oscurecimiento.

Este compuesto, a diferencia del vapor de wolframio, se mantiene en forma gaseosa, por lo que la temperatura de la ampolla es lo suficientemente elevada para prevenir la condensación. Al acercarse al filamento a alta temperatura, el compuesto se descompone en wolframio que se deposita de nuevo en el filamento y en halógeno, que permanece con su labor dentro del ciclo regenerativo.



*Figura 5.2. Lámpara halógena.*<sup>5.2</sup>

Como las lámparas halógenas deben soportar altas temperaturas, sus ampollas son más pequeñas y la envoltura tubular se crea con vidrio de cuarzo especial, el cual no debe ser tocado por las manos.

Sus ventajas principales respecto a la tecnología incandescente son:

- **Mayor durabilidad**
- **Mayor eficiencia luminosa**
- **Menor tamaño**
- **Mayor temperatura de color**

<sup>5.2</sup> Fuente: [3]

### 5.1.3. Lámparas fluorescentes

Son lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión que generan luz por luminiscencia. En su interior hay vapor de mercurio junto a un polvo fluorescente de fósforo. La luz se produce cuando se activa la fluorescencia del polvo fluorescente gracias a la radiación ultravioleta de una descarga eléctrica que se produce entre los electrodos de la lámpara y se mantiene en el vapor de mercurio que contiene.

Existen dos tipos de lámparas fluorescentes:

- Tubulares
- Compactas

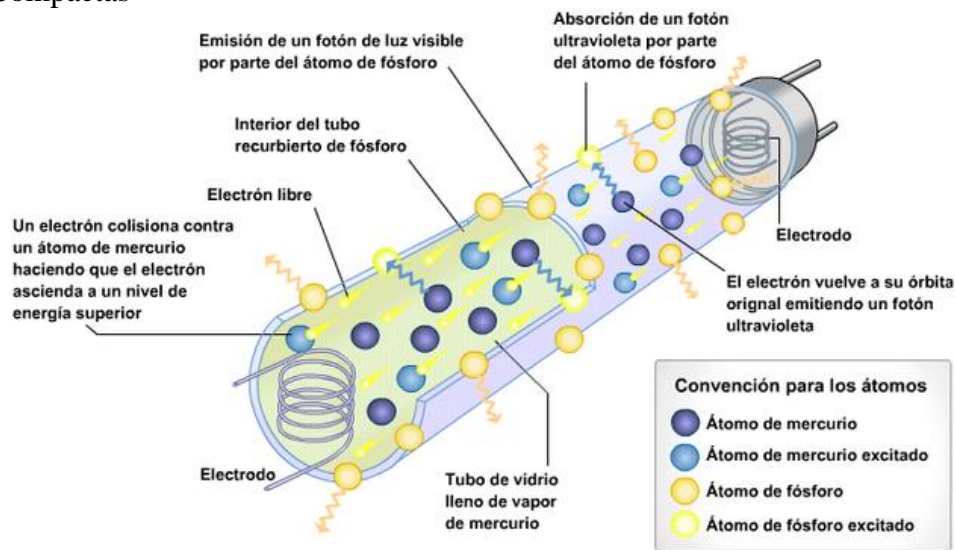


Figura 5.3. Partes de la lámpara fluorescente tubular. <sup>5.3</sup>

- **Ampolla:** fabricada en vidrio cal-soda suavizado con óxido de hierro, se encarga de controlar la transmisión ultravioleta de onda corta.
- **Revestimientos fluorescentes:** es el polvo fluorescente o fósforo utilizado. *“Éste fija la temperatura de color (y como consecuencia la apariencia de color), el índice de reproducción del color y, en gran parte, la eficiencia lumínica de la lámpara.”*
- **Electrodos** <sup>\*</sup>: conducen la energía eléctrica a la lámpara y suministra los electrones que se necesitan para mantener la descarga.
- **Gas de relleno:** mezcla de vapor de mercurio saturado y un gas inerte amortiguador (argón y kriptón).

<sup>5.3</sup> Fuente: [http://1.bp.blogspot.com/\\_BWXh-5GBWTA/TGJluIgUTiI/AAAAAAAAACcw/\\_DTSW49U8k/s1600/Fluorescente.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_BWXh-5GBWTA/TGJluIgUTiI/AAAAAAAAACcw/_DTSW49U8k/s1600/Fluorescente.jpg)

<sup>\*</sup> La mayoría de los tubos fluorescentes precalienta sus electrodos gracias a un arrancador, que emite una corriente eléctrica justo antes del encendido.

Para su funcionamiento requieren de un equipo auxiliar formado por un balasto y un cebador. No solo es importante la calidad de la lámpara, si no también, la de su equipo auxiliar, el cual afecta en su funcionamiento, rendimiento y duración.

#### 5.1.4. Equipos auxiliares [20]

Los equipos auxiliares comunes son:

- **Balasto:** limita la corriente que pasa por la lámpara a sus parámetros óptimos. *“Los balastos asociados a lámparas deben proporcionar a las mismas los parámetros de funcionamiento establecidos en las normas y con las menores pérdidas de energías posibles.”*
- **Cebador o arrancador\*:** al abrirse, proporciona un pico de alta tensión que permite el encender la lámpara.
- **Condensador\*:** *“corrige el factor de potencia hasta los valores definidos en normas y reglamentos en vigor. Si se utilizan balastos electromagnéticos el uso de condensadores es imprescindible, puesto que la corriente que circula por ellos se haya en oposición de fase con respecto a la corriente reactiva de tipo inductivo de la carga, produciendo una disminución de la corriente y potencia reactiva total de la instalación.”* Reducen la potencia consumida, por lo que se aumenta la eficiencia de la instalación.

Las propiedades de estos equipos varían en función de las propiedades de la red y del tipo y potencia de la lámpara.

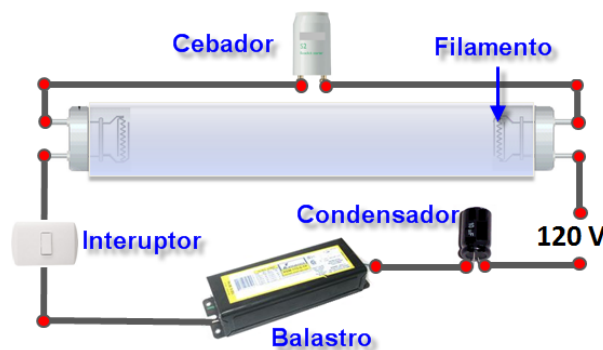


Figura 5.4. Conjunto equipos auxiliares. <sup>5.4</sup>

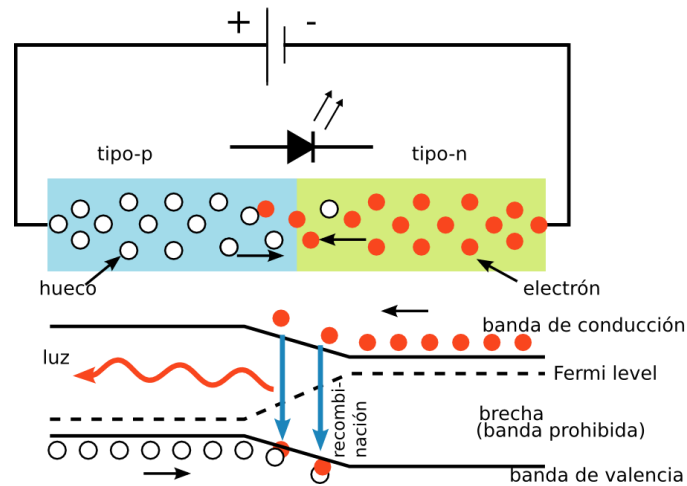
\* El cebador y condensador se emplea con balastos electromagnéticos. No se usa con balastos electrónicos, ya que estos últimos incorporan elementos que realizan esas funciones.

<sup>5.4</sup> Fuente: [http://4.bp.blogspot.com/-OkDVRbA1pAI/TnO-9UHYWII/AAAAAAAAAMo/38h7okB\\_K4I/s1600/Fluorescente.png](http://4.bp.blogspot.com/-OkDVRbA1pAI/TnO-9UHYWII/AAAAAAAAAMo/38h7okB_K4I/s1600/Fluorescente.png)

### 5.1.5. LED

El LED, acrónimo de Light Emitting Diode (diodo emisor de luz), es un dispositivo semiconductor que emite luz por electroluminiscencia.

Esta tecnología comenzó a desarrollarse por Oleg Vladimírovich Lósev en 1927 y en la actualidad es la tecnología de iluminación comercializada más empleada.



**Figura 5.5. Funcionamiento LED.** <sup>5.5</sup>

*“Cuando se alimenta (polarización directa), los electrones se mueven a través del semiconductor y algunos de ellos caen en un estado energético inferior. Durante el proceso, la energía «ahorrada» se emite bajo forma de luz.”*

Sus ventajas son:

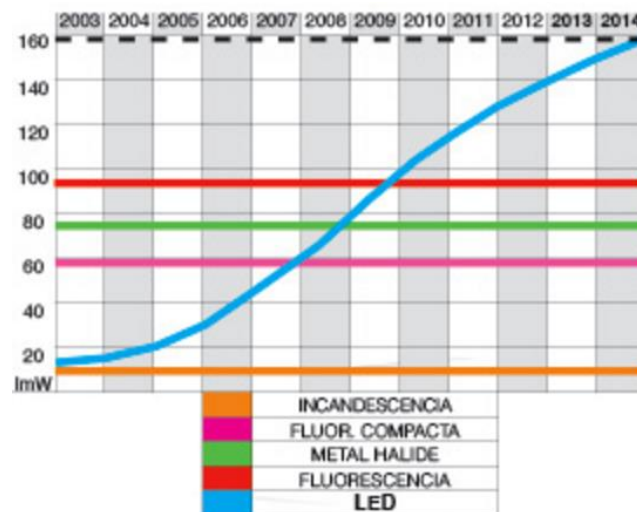
- **Elevada vida útil (40.000 – 100.000h)**
- **Mayor eficiencia luminosa (>140 lm/W)**
- **Regulación sin variación de color**
- **Posibilidad de control dinámico del color (DMX, DALI)**
- **Espectro continuo de los colores**
- **Encendido inmediato y posible a muy bajas temperaturas (- 30 °C)**
- **Emisión de luz unidireccional**
- **Costes de mantenimiento reducidos**
- **Su vida útil no se ve afectada por los encendidos y apagados**
- **Ausencia de mercurio**
- **Ausencia de componentes IR o UV en el espectro de la luz visible (No emite calor)**

<sup>5.5</sup> Fuente: <http://www.leditgrow.cl/wp-content/uploads/2015/05/PnJunction-LED-E.png>

La emisión de luz de un LED es prácticamente monocromática y el tono depende de los materiales semiconductores de los que está formado.

Color	Longitud de onda (nm)	Material semiconductor
Infrarrojo	$\lambda > 760$	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
Rojo	$610 < \lambda < 760$	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Naranja	$590 < \lambda < 610$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Amarillo	$570 < \lambda < 590$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
Verde	$500 < \lambda < 570$	Verde tradicional: Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP) Verde puro: Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN)
Azul	$450 < \lambda < 500$	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) como sustrato Silicon (Si) como sustrato—en desarrollo
Violeta	$400 < \lambda < 450$	Indium gallium nitride (InGaN)
Ultravioleta	$\lambda < 400$	Diamond (235 nm) Boron nitride (215 nm) Aluminium nitride (AlN) (210 nm) Aluminium gallium nitride (AlGaInN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)—hasta 210 nm
Blanco	amplio espectro	LED Azul/UV con fósforo

**Figura 5.6. Variación color según el material semiconductor del LED.**<sup>5.6</sup>



**Figura 5.7. Evolución eficacia tecnologías de iluminación.**<sup>5.7</sup>

<sup>5.6</sup> Fuente: <http://www.leditgrow.cl/tecnologia-leditgrow/>

<sup>5.7</sup> Fuente: <http://www.disano.it/es/productos/disano-el-futuro-de-la-luz/-que-es-un-led#sthash.nqsiTKsM.dpbs>



*Figura 5.8. Componentes de un LED.*<sup>5.8</sup>

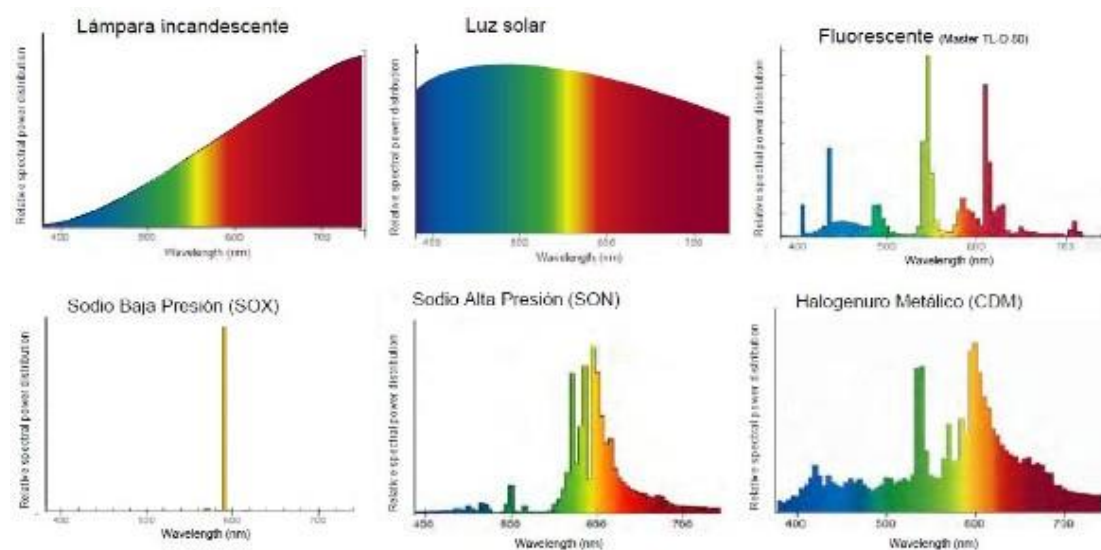
- **Fuente de alimentación o Driver:** el LED se conecta a un driver que transforma la tensión de red de la instalación a la tensión de funcionamiento del LED.
- **Placa base:** superficie base donde se realizan las conexiones de la luminaria, el disipador y resto de componentes.
- **Chip LED:** elemento principal, formado por un material semiconductor genera luz cuando recibe corriente eléctrica. En su base se sitúa la mezcla semiconductora de la que obtiene el tono de color y su calidad.
- **Disipador pasivo o activo:** aunque el LED no emite calor, en conjunto la luminaria sí lo hace. Para disipar este calor se emplean disipadores con aletas de aluminio o cobre e incluso se añade refrigeración de aire para mejorar la disipación. Un buen funcionamiento del conjunto mejora el funcionamiento y la vida de la luminaria.
- **Óptica:** lente que distribuye la luz emitida por el LED. En algunos casos se emplea para direccionar el flujo luminoso del LED.

<sup>5.8</sup> Fuente:

<http://g03.a.alicdn.com/kf/HTB1y83JGVXXXXbiXXXXq6xXFXXXW/220253842/HTB1y83JGVXXXXbiXXXXq6xXFXXXW.jpg>



### 5.1.6. Comparativa



La calidad del color se incrementa con el número de líneas y la anchura de las mismas

Figura 5.9. Comparativa distribución espectral fuentes de luz más comunes.<sup>5.9</sup>

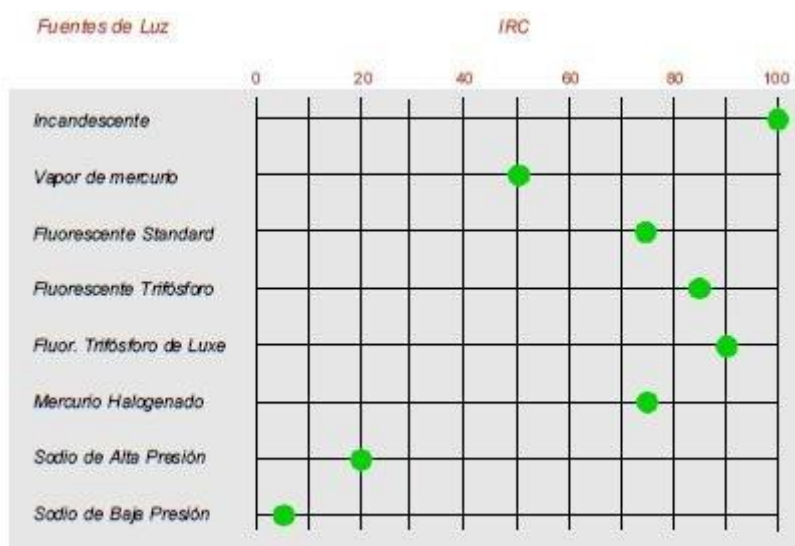


Figura 5.10. IRC de distintas fuentes de luz.<sup>5.10</sup>

<sup>5.9</sup> Fuente: <http://www.vpingenieros.es/irc.html>

<sup>5.10</sup> Fuente: <http://www.vpingenieros.es/irc.html>



Características luminotécnicas									
Tecnología	Tipo	Flujo [lm]	Eficacia [lm/W]	Vataje [W]	Tª color [K]	IRC	Vida útil [h]	Regulación	Presentación habitual
Incandescente	-	200-8500	8-17	25-500	2700	100	1000-2000	Sí	Ampolla
Halógena	Bajo voltaje (12-24V)	320-2200	16-22	20-100	3000-4100	100	1000-5000	Sí	Bipin, dicroica, QR 111
	Tensión de Red (230V)	500-48000	20-27	25-2000	2900-3100	100	2000-5000	Sí	Doble envoltura, dicroica, PAR, lineal
Fluorescente	Tubo T8/26mm (bifósforos)	1000-4500	58/79	18/36/58	4000-6500	+60/+70	6000 7000 (HF)	Según equipo	Lineal
	Tubo T8/26mm (Trifósforos)	1350-5200	75/93	18/36/58	2700 3000 4000 6500	+80	12000 17000 (HF)	Según equipo	Lineal Circular
	Tubo T8/26mm (Trifósforo larga vida)	1350-5200	75/92	18/36/58	3000 4000 6500	+80	24000-40000 47000-60000 (HF)	Según equipo	Lineal
	Tubo T5/16mm (Trifósforo de alta eficiencia)	1200-3500	90-115	14/28/35 (13/25/32)	2700 3000 4000 6500	+80	20000	Según equipo	Lineal
	Tubo T5/16mm H0 (Trifósforo de alto flujo)	1750-7000	73-88 (100)	24/54/(49) - 80	2700 3000 4000 6500	+80	20000	Según equipo	Lineal Circular
	Tubo T8 y T5 gama 90 (Multifósforos)	950-4600	53-79	18/36/58 24/54/49	3000 4000 5300 6500	+90	15000-19000	Según equipo	Lineal
	Compactas no integradas	400-9000	57/88	7-120	2700 3000 4000	+80 +90	8000-20000	Según equipo	2 patillas 4 patillas
	Compactas integradas	230-2150	25-65	5-33 (Bajo factor de potencia)	2700 (4000-6500)	+80	6000-12000	No	Desnudas Carcasa Reflectoras
	Lámparas sin electrodos (Inducción magnética)	3500-12000	64-73	55-165	2900 3750	+80	+60000	No	Dependiendo del fabricante
LED	-	8-2000	15-105	0,3-36	2700-8000	+80	+50000	Sí	Variada

**Tabla 5.1. Comparativa tecnologías iluminación.** <sup>T 5.1</sup>

<sup>T 5.1</sup> Fuente: [3]

### 5.1.6.1 Comparativa calor emitido por fluorescente y LED

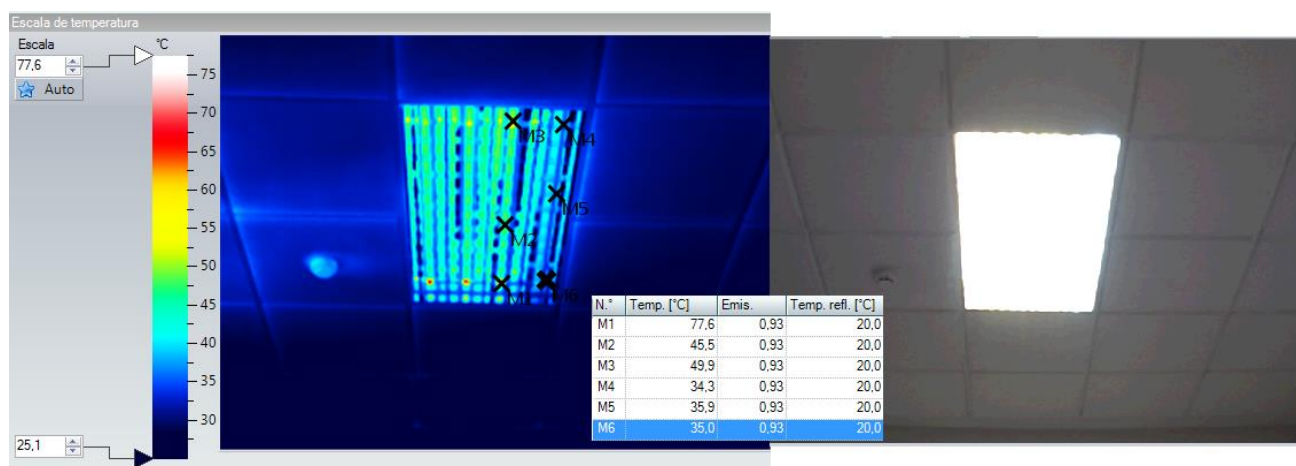
Haciendo uso de una cámara termográfica se puede comprobar el calor irradiado por una lámpara fluorescente y otra LED.



**Figura 5.11. Cámara termográfica.** <sup>5.11</sup>

Estos dispositivos forman imágenes visibles para el ojo humano de las emisiones infrarrojas del espectro electromagnético de los cuerpos detectados.

En el caso de las lámparas fluorescentes, aproximadamente solo un 20% de la energía consumida es convertida en luz, un 40% en calor y otro 40% en radiación infrarroja. Sin embargo, una lámpara LED convierte un 70-80% en luz, solo un 20-30% en calor y no emiten radiaciones ultravioleta ni infrarroja.



**Figura 5.12. Comparativa termográfica tubo fluorescente vs tubo LED.** <sup>5.12</sup>

En el caso de hacer un estudio de eficiencia energética que también incluyese la envolvente del edificio o de sus instalaciones de climatización, este aparato puede analizar puentes térmicos en las instalaciones.

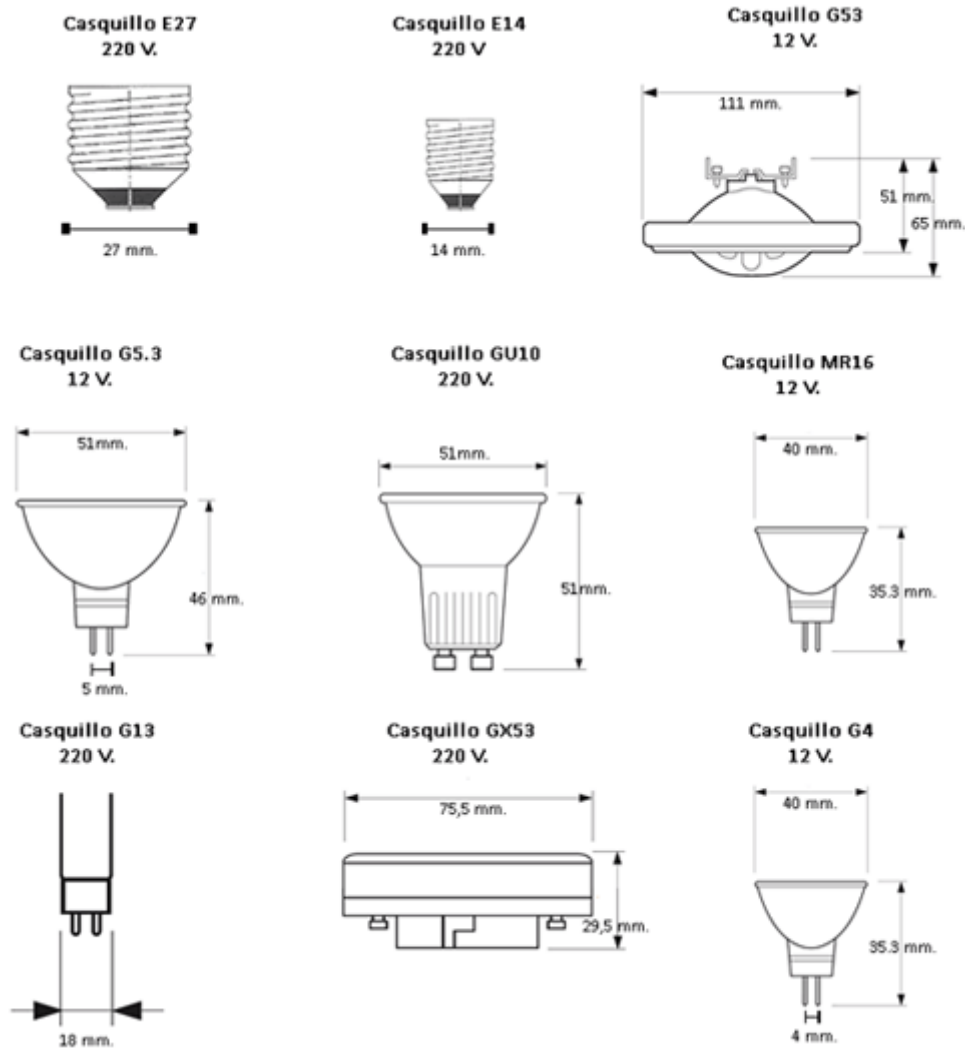
<sup>5.11</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>5.12</sup> Fuente: elaboración propia con programa testo IIRSoft.

### 5.1.7. Presentación

#### 5.1.7.1. Sistemas de fijación

En algunos casos, en vez de sustituir toda la luminaria, es posible reemplazar solo la lámpara. Por ese motivo, es importante conocer las diferentes presentaciones que existen.



**Figura 5.13. Tipos de casquillos de lámpara más comunes.** <sup>5.13</sup>

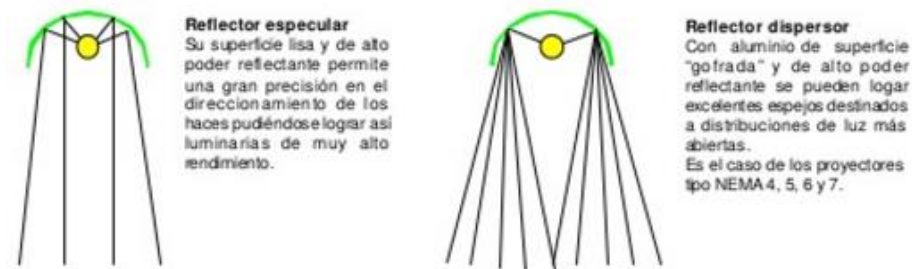
El código E27 hace referencia a un conector de tipo “rosca Edison” con un diámetro de 27 mm. La rosca Edison o tornillo de Edison fue desarrollada por Thomas Alva Edison en 1909 y es el nombre por el cual se conoce al mecanismo de ajuste o fijación de una bombilla.

<sup>5.13</sup> Fuente: [ledforever.tienda-online.com/blog/bases-casquillos-para-lamparas-y-luminaria-tipo-led](http://ledforever.tienda-online.com/blog/bases-casquillos-para-lamparas-y-luminaria-tipo-led)

### 5.1.7.2. Reflectores luminaria

Son determinadas superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y dirección del flujo de la lámpara. En función de cómo se emita la radiación luminosa pueden ser:

- **Simétrico** (con uno o dos ejes) o **asimétrico**.
- **Concentrador** (haz  $< 20^\circ$ ) o **difusor** (haz  $20 < x < 40^\circ$  o haz  $> 40^\circ$ ).
- **Especular** (con escasa dispersión luminosa) o **no especular** (con dispersión de flujo).
- **Frío** (con reflector dicroico) o **normal**.

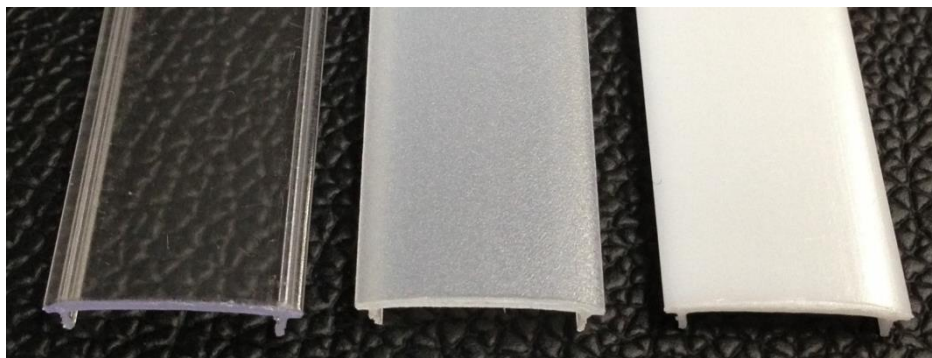


*Figura 5.14. Reflector especular y disperso.*<sup>5.14</sup>

### 5.1.7.3. Difusores luminaria

Los difusores son los elementos de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa. Los tipos comunes son:

- **Opal liso** (blanca) o **prismática** (metacrilato traslúcido)
- **Lamas o reticular** (con influencia directa sobre el ángulo de apantallamiento)
- **Especular o no especular** (con propiedades similares a los reflectores)



*Figura 5.15. Difusor transparente, prismático y opal liso.*<sup>5.15</sup>

<sup>5.14</sup> Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/manualluminotecnica-131212131129-phpapp01/95/manual-luminotecnica-22-638.jpg?cb=1386854027>

<sup>5.15</sup> Fuente: <https://www.byverdleds.com/1037/difusor-opal-perfil-led-barra-2-metros.jpg>

## 5.2. Equipos auxiliares de control y regulación [20]

Existen diferentes equipos y métodos de actuación “sobre el entorno de trabajo del edificio o en consonancia con la actividad de los ocupantes.” Se pueden emplear individualmente o de forma combinada. Los más habituales son:

- **Detección de movimiento o presencia:** los sensores PIR (Pasivo Infrarrojo) “responden al movimiento del calor corporal en una zona determinada, encendiendo o apagando la luz según la presencia o la ausencia de personas en movimiento.” Este sistema puede configurar un período de retardo para evitar que, si una persona se queda inmóvil durante un período breve de tiempo, el sistema no lo interprete como una falta de presencia de la persona y apague la luz.
- **Regulación en función de la luz natural:** este sistema emplea una fotocélula<sup>15</sup> que mide la cantidad de luz total (conjunto de luz natural más artificial) que existe en el local. “La medida pasa al sistema de control y éste regula el flujo de las lámparas del área controlada para mantener un nivel de iluminación constante y correcto.”
- **Control horario y por fechas:** empleado para encender, apagar y regular automáticamente la iluminación en cualquier momento.
- **Nivel de iluminancia constante:** “se puede utilizar una fotocélula conectada a un sistema de control para mantener un nivel de iluminación constante a lo largo de la vida útil de la lámpara. Como al principio, la lámpara al ser nueva emite un mayor flujo luminoso, deberá ser atenuada para conseguir el nivel adecuado. A medida que transcurren las horas de funcionamiento el flujo luminoso disminuye y el sistema aumenta gradualmente el flujo que inicialmente había atenuado.”



Figura 5.16. Detector de movimiento y fotocélula. <sup>5.16</sup>

<sup>15</sup> Sensor fotoeléctrico. Dispositivo electrónico que responde ante cambios de intensidad de la luz.

<sup>5.16</sup> Fuente: <http://saberyhacer.com/wp-content/uploads/2012/09/41-320.jpg>  
<http://www.lanbieta.es/images/fotocelula.jpg>

### 5.2.1. Regulación DALI [21]

*“Digital Addressable Lighting Interface (DALI) es un interfaz de comunicación digital y direccionable para sistemas de iluminación.*

*Este sistema es un estándar internacional, de acuerdo a la norma IEC 62386, que asegura la compatibilidad e intercambiabilidad entre equipos de diferentes fabricantes, los cuales están marcados con el siguiente logo:”*



***Figura 5.17. Logotipo de regulación DALI.***<sup>5.17</sup>

---

<sup>5.17</sup> Fuente: <http://www.elt-blog.com/sistemas-de-regulacion-y-control-del-alumbrado-parte-1/>

# Capítulo 6

## Estado del arte

El proyecto recoge el Documento Básico de ahorro de energía del CTE, las normativas de iluminación interior y exterior, junto a su plan de mantenimiento, así como los reglamentos y normas de eficiencia energética y metodologías de estudio en auditorías energéticas tanto en instalaciones interiores como exteriores, dando con ello cumplimiento a las siguientes disposiciones:

Normativas vigentes de aplicación en iluminación:

- CTE DB HE
- UNE-EN 12464-1
- UNE-EN 12464-2

Metodología de estudio en auditorías energéticas y reglamentos de eficiencia energética:

- Real Decreto 56-2016
- UNE-EN 16247-2
- Real decreto 1890-2008

## 6.1. Normativas actuales de aplicación en iluminación

### 6.1.1. CTE DB HE [22]

*“Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006 de 17 de marzo). Documento de Exigencias básicas de Ahorro de Energía DB HE 1-5. Este documento se ha actualizado en 2013 (Orden FOM/1635/2013 de 10 de septiembre).”*

El Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación establece las reglas y operaciones que posibilitan el cumplimiento del requisito básico de ahorro de energía. El documento trata las exigencias básicas HE 1 a HE 5 y la sección HE 0, relativa a varias de las exigencias anteriores. Aplicar correctamente cada sección implica cumplir cada exigencia básica pertinente. El empleo correcto del DB cumple el requisito básico *"Ahorro de energía"*.

El requisito básico *"Ahorro de energía"* y sus exigencias se disponen en el artículo 15 de la parte I del CTE DB HE.

#### **Artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)**

1. *“El objetivo del requisito básico “Ahorro de energía” consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consume y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.”*

2. Para cumplir el objetivo, los edificios se proyectarán, edificarán, utilizarán y conservarán de tal manera que se obedezcan las exigencias básicas establecidas en los próximos apartados.

3. El Documento Básico “DB HE Ahorro de energía” especifica parámetros objetivos y procedimientos que garantizan cumplir los requerimientos básicos y lograr superar los márgenes de calidad indicados por el requisito básico de ahorro de energía.

Es posible utilizar distintos procedimientos a los contenidos en este DB, siendo necesario entonces aplicar la metodología establecida en el artículo 5 de la Parte I del CTE. Así



mismo, se debe demostrar el cumplimiento del requisito básico y las exigencias básicas en el proyecto.

Existen tres criterios necesarios a aplicar en edificios existentes:

➤ ***Criterio 1: no empeoramiento***

Excepto que se indique algo diferente, las anteriores condiciones de ahorro de energía que requieran menos exigencias que las señaladas en este DB, no se permitirán disminuir. Del mismo modo, las condiciones más exigentes no podrán reducir su nivel por debajo del mínimo establecido en el DB.

➤ ***Criterio 2: flexibilidad***

En caso de no cumplir los requerimientos determinados en este DB, *se podrán tomar medidas para adecuarse lo máximo posible, si la causa está vinculada a:*

- “a) edificios con valor histórico o arquitectónico reconocido, cuando otras soluciones pudiesen alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto, o;*
- b) la aplicación de otras soluciones no suponga una mejora efectiva en las prestaciones relacionadas con el requisito básico de “Ahorro de energía”, o;*
- c) otras soluciones no sean técnica o económicamente viables, o;*
- d) la intervención implique cambios sustanciales en otros elementos de la envolvente sobre los que no se fuera a actuar inicialmente.”*

Se debe razonar su uso y en la documentación final del proyecto se deben incluir los valores del nivel impuesto y su uso estipulado, así como el plan de mantenimiento, en caso de existir.

➤ ***Criterio 3: reparación de daños***

Se pueden conservar los elementos no afectados por las exigencias determinadas en este DB, si no tienen daños que agraven sus prestaciones originales. En caso de presentar daños, se obligará a tomar medidas para corregirlo.

El presente proyecto se ajusta a la exigencia básica HE 3, pero también se citarán el resto de exigencias necesarias para lograr el “Ahorro de energía”.

**6.1.1.1. Exigencia básica HE 1: Limitación de la demanda energética**

*“Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.”*

**6.1.1.2. Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas**

La exigencia de la sección DB HE 2 del CTE se especifica en el actual RITE<sup>16</sup>.

*“Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.”*

**6.1.1.3. Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación**

*“Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.”*

---

<sup>16</sup> Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

El ámbito de aplicación de esta sección incluye:

- a) los edificios de nueva construcción;
- b) los edificios existentes con superficies útiles superiores a los 1.000 m<sup>2</sup> en las que se renueve más del 25 % del espacio iluminado;
- c) renovaciones o ampliaciones en edificios existentes, ajustando la parte renovada o ampliada a los requisitos de eficiencia energética límites dependiendo de la actividad. Si existe la obligación de incluir sistema de control y regulación, se instalarán;
- d) variación del uso típico del edificio;
- e) variación de actividad en un área del edificio que conlleve un valor inferior de VEEI límite, en relación al valor anterior.

No están incluidas en el ámbito de aplicación:

- a) edificaciones provisionales con pretensiones de uso igual o menor a dos años;
- b) *“edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales;*
- c) *edificios independientes con una superficie útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>;*
- d) *interiores de viviendas;*
- e) *edificios históricos protegidos por el organismo competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística”.*

En los casos excluidos se deben argumentar las medidas realizadas para cumplir el objetivo de ahorro de energía en la instalación de iluminación.

Las exigencias tampoco se aplican a los alumbrados de emergencia.

El proyecto debe cumplir el VEEI<sup>17</sup>, no superar el límite de máxima densidad de potencia instalada y disponer de sistemas de control y regulación de la iluminación.

---

<sup>17</sup> Valor de Eficiencia Energética de la Instalación.

### **6.1.1.3.1. Valor de Eficiencia Energética de la Instalación**

*“La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:”*

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Donde:

- P es la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W]
- S es la superficie iluminada [m<sup>2</sup>]
- $E_m$  es la iluminancia media horizontal mantenida [lx]

Los diferentes valores límite se establecen en la Tabla 2.1. del DB.

<b>Zonas de actividad diferenciada</b>	<b>VEEI límite</b>
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico <sup>(1)</sup>	3,5
aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	3,5
habitaciones de hospital <sup>(3)</sup>	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes <sup>(4)</sup>	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos <sup>(5)</sup>	4,0
estaciones de transporte <sup>(6)</sup>	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) <sup>(7)</sup>	6,0
hostelería y restauración <sup>(8)</sup>	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(9)</sup>	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

**Tabla 6.1. Valores límite de eficiencia energética de la instalación.** <sup>T 6.1</sup>

<sup>T 6.1</sup> Fuente: CTE DB HE3 - Tabla 2.1

### **6.1.1.3.2. Potencia instalada en edificio**

*“La potencia instalada en iluminación, teniendo en cuenta la potencia de lámparas y equipos auxiliares, no superará los valores especificados en la Tabla 2.2 del DB:”*

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m2]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

**Tabla 6.2. Potencia máxima de iluminación.** <sup>T 6.2</sup>

### **6.1.1.3.3. Sistemas de control y regulación**

*“Las instalaciones de iluminación dispondrán, para cada zona, de un sistema de control y regulación con las siguientes condiciones:*

- a) *toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Toda zona dispondrá de un sistema de encendidos por horario centralizado en cada cuadro eléctrico. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia temporizado o sistema de pulsador temporizado;*
- b) *se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen proporcionalmente y de manera automática por sensor de luminosidad el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural de las luminarias de las habitaciones de menos de 6 metros de profundidad y en las dos primeras líneas paralelas de luminarias situadas a una distancia inferior a 5 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, cuando se den las siguientes condiciones:*

<sup>T 6.2</sup> Fuente: CTE DB HE3 - Tabla 2.2

i) en todas las zonas que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:”

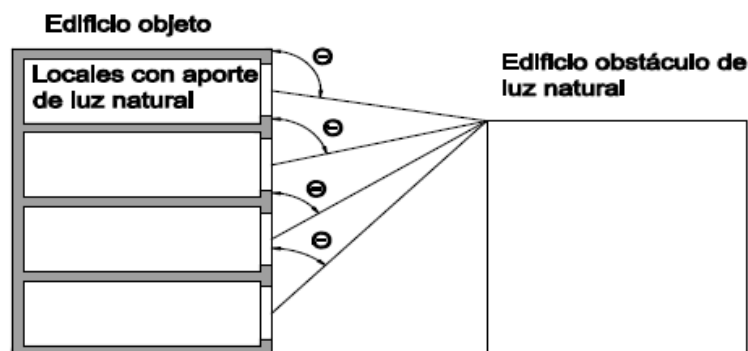


Figura 6.1. Esquema fachada y obstáculo de luz natural. <sup>6.1</sup>

- que el ángulo<sup>18</sup>  $\theta > 65^\circ$ ;
- que se verifique la expresión:  $T(A_w/A) > 0,11$

Siendo:

- “ $\theta$  es el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medido en grados sexagesimales”
- T es el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno
- $A_w$  es el área de acristalamiento de la ventana de la zona [ $m^2$ ]
- A es el área total de las fachadas de la zona, con ventanas al exterior o al patio interior o al atrio [ $m^2$ ]

ii) “en todas las zonas que cuenten con cerramientos acristalados a patios o atrios, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- en el caso de patios no cubiertos cuando éstos tengan una anchura ( $a_i$ ) superior a 2 veces la distancia ( $h_i$ ), siendo  $h_i$  la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio, y la cubierta del edificio

<sup>6.1</sup> Fuente: CTE DB HE3 - Figura 2.1

<sup>18</sup>  $\theta$  es el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medido en grados sexagesimales

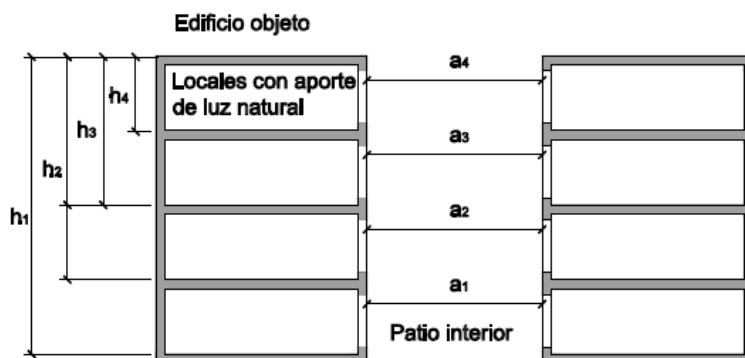


Figura 6.2. Esquema edificios con patio interior. <sup>6.2</sup>

- en el caso de patios cubiertos por acristalamientos cuando su anchura ( $a_i$ ) sea superior a  $2/T_c$  veces la distancia ( $h_i$ ), siendo  $h_i$  la distancia entre la planta donde se encuentre el local en estudio y la cubierta del edificio, y siendo  $T_c$  el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de cerramiento del patio, expresado en %.”

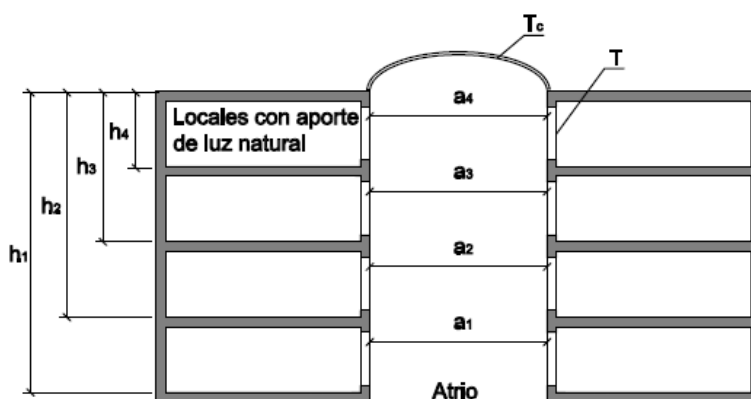


Figura 6.3. Esquema edificios con patio interior cubierto. <sup>6.3</sup>

- que se verifique la expresión:  $T(A_w/A) > 0,11$

Donde:

- “ $T$  es el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno
- $A_w$  es el área de acristalamiento de la ventana de la zona [ $m^2$ ]
- $A$  es el área total de las superficies interiores del local (suelo + techo + paredes + ventanas) [ $m^2$ ]”

<sup>6.2</sup> Fuente: CTE DB HE3 - Figura 2.2

<sup>6.3</sup> Fuente: CTE DB HE3 - Figura 2.3

c) no se exige el cumplimiento del apartado b) en las siguientes zonas de la tabla 2.1:

- “i) zonas comunes en edificios residenciales.*
- ii) habitaciones de hospital.*
- iii) habitaciones de hoteles, hostales, etc.*
- iv) tiendas y pequeño comercio.”*

#### **6.1.1.3.4. Mantenimiento de instalaciones**

Se debe incluir en el proyecto un plan de mantenimiento, limpieza de luminarias y zonas iluminadas y reposición de las mismas.

#### **6.1.1.4. Exigencia básica HE 4: Contribución solar mínima de ACS** <sup>19</sup>

En edificios que tengan previsto demandar ACS o climatizar una piscina cubierta, si así lo establece este CTE, *“parte de esas necesidades energéticas térmicas se cubrirá incorporando en los mismo de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio o de la piscina. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.”*

#### **6.1.1.5. Exigencia básica HE 5: Contribución fotovoltaica mínima energía eléctrica**

*“En los edificios que así se establezca en este CTE se incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o suministro a la red. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.”*

Al trabajar en un centro educativo, éste queda exento del cumplimiento de las exigencias de esta sección.

---

<sup>19</sup> Agua Caliente Sanitaria



### 6.1.2. UNE 12464-1 [23]

La norma europea UNE EN 12464-1 de febrero de 2012 indica los parámetros de iluminación en los lugares de trabajo interior que se deben cumplir en la ejecución del proyecto, incluyendo los EPV<sup>20</sup>.

Una correcta y conveniente iluminación favorece en la eficiencia y precisión de los trabajos y labores realizadas por las personas. El nivel de visibilidad y comodidad demandado en diferentes entornos de trabajo se rige por el tipo de trabajo y la duración del trabajo desarrollado.

La norma define las exigencias para alcanzar sus objetivos en términos de cantidad y calidad de iluminación. Al mismo tiempo, se proporcionan indicaciones para realizar un buen uso de la iluminación.

Para lograr este objetivo, es imprescindible tener en cuenta todos los capítulos de esta norma, teniendo especial importancia las exigencias definidas en tablas del capítulo 5.

La norma no aporta recursos concretos ni limita a los proyectistas a tomar decisiones y hacer uso de nuevas e innovadoras tecnologías. La iluminación puede suministrarse a través de luz diurna, iluminación artificial o combinándolas.

Para lugares de trabajos exteriores se hará uso de la norma EN 12464-2 y para la iluminación de emergencia, la norma EN 13032-3.

---

<sup>20</sup> Equipos con Pantalla de Visualización.

### 6.1.2.1. Términos y definiciones

Se emplean las definiciones incluidas en la Norma EN 12665, además de:

- **“Área de actividad:** *área dentro de la cual se realiza una actividad específica.*
- **Área de fondo:** *área adyacente al área circundante inmediata.*
- **EPV:** *equipo de visualización alfanumérica o gráfica, sin tener en cuenta el proceso de visualización empleado.*<sup>21</sup>
- **Área circundante inmediata:** *franja alrededor del área de tarea dentro del campo visual.*
- **Claraboya:** *abertura de luz diurna en el tejado o superficie horizontal de un edificio.*
- **Ángulo de apantallamiento:** *ángulo entre el plano horizontal y la primera línea de visión en la que son directamente visibles las partes luminosas de las lámparas en la luminaria.*
- **Área de tarea:** *área dentro de la cual se realiza la tarea visual.*
- **Tarea visual:** *elementos visuales de la actividad que se está llevando a cabo.*<sup>22</sup>
- **Ventanas:** *abertura de luz en un área vertical o casi de la cubierta de una sala.*
- **Lugar de trabajo:** *lugar destinado a alojar los puestos de trabajo sobre las premisas de acometida y/o establecimiento y cualquier otro lugar dentro del área de acometida y/o establecimiento a la cual el trabajador ha accedido en el transcurso de su trabajo.*<sup>23</sup>
- **Puesto de trabajo:** *combinación y disposición espacial del equipo de trabajo, rodeado por el ambiente de trabajo bajo las condiciones impuestas por las tareas de trabajo.”*

---

<sup>21</sup> Adaptado de 90/270/CEE

<sup>22</sup> Los elementos visuales principales son el tamaño de la estructura, su iluminancia, su contraste contra el fondo y su duración.

<sup>23</sup> Adaptado de 89/654/CEE

### 6.1.2.2. Criterios de diseño de iluminación

#### Ambiente luminoso

Para realizar una buena iluminación es fundamental cumplir con la iluminancia requerida y otras necesidades cualitativas y cuantitativas, satisfaciendo tres necesidades humanas básicas:

1. **Confort visual**, produciendo sensación de bienestar en los trabajadores, ya que indirectamente implica un aumento de la productividad y la calidad de trabajo;
2. **Rendimiento visual**, permitiendo a los trabajadores realizar sus tareas visuales hasta en condiciones difíciles y mayores períodos de tiempo;
3. **Seguridad**.

El ambiente luminoso se determina a partir de los siguientes parámetros fundamentales:

#### 1. Distribución de luminancias

Una buena distribución de la luminancia aumenta “*la agudeza visual, la sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de iluminancia relativamente pequeñas) y la eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimiento de ojo, etc).*”

*Para crear una distribución de luminancias bien equilibrada deben tenerse en cuenta las luminancias de todas las superficies y se determinarán por la reflectancia y la iluminación sobre las superficies. Para evitar la penumbra y para elevar los niveles de adaptación y confort de las personas en los edificios, es altamente deseable tener superficies interiores brillantes particularmente las paredes y techos.”*

Los valores de reflectancia recomendadas para la mayoría de superficies que reflejan de forma difusa son: <sup>24</sup>

Reflectancias recomendadas para superficies interiores	
<b>Techo</b>	0,7 a 0,9
<b>Paredes</b>	0,5 a 0,8
<b>Suelo</b>	0,2 a 0,4

<sup>24</sup> “La reflectancia de los objetos mayores (como muebles, maquinaria, etc) debería estar en el intervalo de 0,2 a 0,7.”

Los valores de iluminancia mantenida recomendadas para la mayoría de superficies de lugares cerrados son:

	$\bar{E}_m$	$U_0$
<b>Paredes</b>	$> 50 \text{ lx}$	$\geq 0,10$
<b>Techo</b>	$> 30 \text{ lx}$	$\geq 0,10$

En lugares como áreas de almacenamiento se aceptan niveles menores a los recomendados, dada su complejidad.

*“En algunos lugares cerrados como oficinas, áreas educacionales, de salud y áreas generales de entrada, pasillos, escaleras, etc., las paredes y el techo necesitan ser más brillantes. En estos lugares, se recomienda que las iluminancias mantenidas sobre la gran parte de superficies tengan los siguientes valores:”*

	$\bar{E}_m$	$U_0$
<b>Paredes</b>	$> 75 \text{ lx}$	$\geq 0,10$
<b>Techo</b>	$> 50 \text{ lx}$	$\geq 0,10$

## 2. Iluminancia

*“Todos los valores de iluminancia especificados en esta norma europea son iluminancias mantenidas y satisfacen las necesidades de confort y rendimiento visual.*

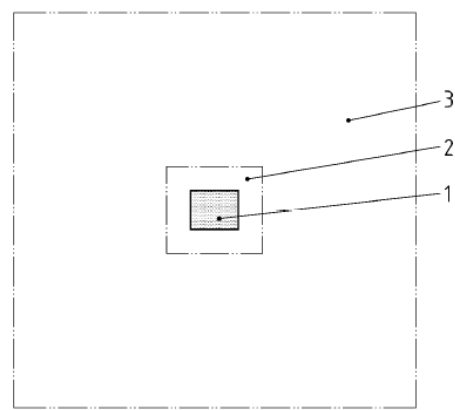
*Las etapas recomendadas de iluminancia están de acuerdo con la norma EN 12655:”*

20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 – 5000 [lx]

La iluminancia media para cada tarea debe ser, como mínimo, la establecida en las tablas del capítulo 5. Dichos valores son admitidos para condiciones visuales normales y consideran el “confort visual y bienestar, los requisitos para tareas visuales, la ergonomía visual y la contribución a la seguridad funcional.”

*El valor de iluminancia puede ajustarse en al menos un escalón en la escala de iluminancias, si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales.*

*El tamaño y la posición del área de la tarea deberían establecerse y documentarse.”*



**Figura 6.4. Dimensiones mínimas del área circundante inmediata y del área del fondo en relación con el área de la tarea.** <sup>6.4</sup>

Donde:

- “1 es el área de la tarea
- 2 son los alrededores inmediatos (banda con anchura de al menos 0,5 m alrededor del área de la tarea dentro del campo visual)
- 3 es el área del fondo (al menos 3 m de anchura contigua al área circundante inmediata dentro de los límites del espacio)”

“La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia de la tarea pero no debe ser menor que los valores dados en la Tabla 1:”

Iluminancia del área de tarea $E_{\text{tarea}}$ lx	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas lx
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{\text{tarea}}$
100	$E_{\text{tarea}}$
$\leq 50$	$E_{\text{tarea}}$

**Tabla 6.3. Relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas con la iluminación del área de tarea.** <sup>T 6.3</sup>

“El tamaño y la posición del área circundante inmediata deberían establecerse y documentarse.”

Uniformidad de la iluminación

<sup>6.4</sup> Fuente: EN 12464-1 - Figura 1

<sup>T 6.3</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 1

Los valores de la uniformidad de la iluminancia ( $U_0$ ) se establecen en las tablas del capítulo 5. Si la iluminación es artificial o a partir de claraboyas, sus valores serán:

	$U_0$
<b>Área circundante inmediata</b>	$\geq 0,40$
<b>Área de fondo</b>	$\geq 0,10$

### 3. Deslumbramiento

*“Todas las suposiciones hechas en la determinación del UGR deben figurar en la documentación del proyecto. El valor de UGR de la instalación de iluminación no debe exceder del valor dado en el capítulo 5.*

*Los valores de iluminación recomendados del UGR forman una serie cuyos pasos indican cambios evidentes en el deslumbramiento:”*

10, 13, 16, 19, 22, 25, 28

Si se supera el valor de UGR establecido en la norma, se debe indicar la posición correcta para los lugares de trabajo con pantallas situadas en dicha zona.

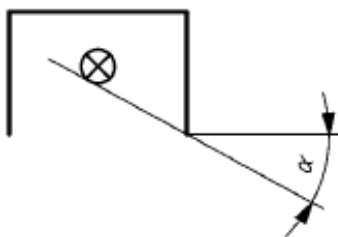
### Apantallamiento contra el deslumbramiento

Para evitar deslumbramientos se deben apantallar las lámparas y claraboyas u oscurecer la luz diurna mediante ventanas. Las luminarias deben cumplir los siguientes valores de ángulo de apantallamiento mínimo:

<b>Luminancia de lámpara</b> $\text{kcd} \cdot \text{m}^{-2}$	<b>Ángulo de apantallamiento mínimo</b> $\alpha$
20 a < 50	15°
50 a < 500	20°
$\geq 500$	30°

**Tabla 6.4. Ángulos mínimos de apantallamiento en luminancias de lámparas especificadas.** <sup>T 6.4</sup>

<sup>T 6.4</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 2



**Figura 6.5. Ángulo de apantallamiento  $\alpha$ .**<sup>6.5</sup>

#### Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado

Se pueden evitar o reducir tomando las siguientes medidas:

- “disposición de lugares de trabajo en relación con las luminarias, ventanas y claraboyas;
- acabados de las superficies (superficies mates);
- limitación de luminancia de luminarias, ventanas y claraboyas;
- techo y paredes brillantes”

#### 4. Iluminación direccional de tareas visuales

“Las cualidades de color de una lámpara próxima al blanco o de luz diurna transmitida están caracterizadas por dos atributos:

- la apariencia de color de la lámpara;
- sus capacidades para la reproducción cromática, que afectan a la apariencia de color de objetos y personas.

Estos dos atributos deben ser considerador por separado.”

#### Apariencia de color

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada $T_{CP}$
Cálida	inferior a 3 300 K
Intermedia	3 300 K a 5 300 K
Fría	superior a 5 300 K

**Tabla 6.5. Grupos de apariencia de color de lámparas.**<sup>T 6.5</sup>

En el capítulo 5 se restringen las temperaturas de color convenientes para determinadas aplicaciones.

<sup>6.5</sup> Fuente: EN 12464-1 - Figura 2

<sup>T 6.5</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 3

Reproducción cromática

En las tablas 5.1 a 5.53 se establecen los valores mínimos recomendados para distintas áreas.

5. Parpadeo y efectos estroboscópicos

*“El parpadeo causa distracción y puede dar lugar a efectos fisiológicos tales como los dolores de cabeza.*

*Los efectos estroboscópicos pueden conducir a situaciones peligrosas cambiando el movimiento percibido de maquinaria giratoria o que se mueve en vaivén.”*

Debido a ello, la iluminación debe evitar ambos fenómenos.

6. Iluminación de los puestos de trabajo con EPV

*La iluminación de los puestos de trabajo con EPV debe ser apropiada para todas las tareas realizadas en el puesto de trabajo, por ejemplo, lectura de pantalla, lectura de texto impreso, escritura en papel, trabajo con el teclado, etc.*

*Es necesario seleccionar, posicionar y disponer las luminarias para evitar reflexiones de alto brillo.*

Límites de luminancia de luminarias con flujo hacia abajo

Pantalla de luminancia de estado alto	Pantalla de alta luminancia $L > 200 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Pantalla de luminancia media $L \leq 200 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Caso A (polaridad positiva y requisitos normales relativos al color y detalles de la información mostrada, como se utiliza en oficina, educación, etc.)	$\leq 3\,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$\leq 1\,500 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Caso B (polaridad negativa y/o mayores requisitos relativos al color y detalles de la información mostrada, como se utiliza para la inspección de color CAD, etc.)	$\leq 1\,500 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$	$\leq 1\,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
NOTA La luminancia de alto estado de pantalla (véase la Norma EN ISO 9241-302) describe la luminancia máxima de la parte blanca de la pantalla y este valor está disponible por parte del fabricante de la pantalla.		

**Tabla 6.6. Límites de luminancia de luminarias que puedan ser reflejadas en la pantalla.** <sup>T 6.6</sup>

<sup>T 6.6</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 4



### 7. Factor de mantenimiento

El proyecto debe contar con un factor de mantenimiento total (FM) ajustado al alumbrado, ambiente y programa de mantenimiento señalado.

Se deberá crear un plan de mantenimiento “que incluya la frecuencia de reemplazamiento de la lámpara y luminaria, y los intervalos de limpieza del acristalamiento y de la sala y el método de limpieza.

El FM tiene un gran impacto sobre la eficiencia energética. La suposición realizada en el establecimiento del FM debe optimizarse de forma que lleve a un valor alto. Las directrices realizadas en el establecimiento del FM para los sistemas de iluminación artificial pueden encontrarse en la NORMA CIE 97-2005.

### 8. Requisitos de eficiencia energética

*El alumbrado debe cumplir su función de una forma eficiente energéticamente. Este ahorro puede cumplirse captando luz diurna, controlando la luz y mejorando el mantenimiento.*

*“El encendido automático o manual y/o atenuación pueden utilizarse para asegurar una integración apropiada entre la luz artificial y la luz diurna”.*

### 9. Beneficios adicionales de la luz diurna

Se puede aportar parte o toda la iluminación a través de la luz diurna. Las ventanas son beneficiosas en los puestos de trabajo porque dejan pasar luz diurna y dan visión del entorno exterior. Se debe evitar que generen molestias visuales o térmicas.

### 10. Variabilidad de la luz

*“La luz es importante para la salud y el bienestar de las personas. La luz afecta al humor, emociones y alerta mental de las personas. Puede también soportar y ajustar el ritmo cardiaco e influir psicológicamente en las personas y en su estado psicológico. Hoy en día las investigaciones indican que estos fenómenos, junto con los criterios de diseño de alumbrado definidos en la Norma EN 12644-1, pueden proporcionarse mediante las denominadas luminancias “sin formación de imagen” y apariencia del color de la luz.*

*La variación de las condiciones de alumbrado en el tiempo mediante mayores iluminancias, distribución de luminancias e intervalo mayor de temperatura de color que las especificadas esta norma europea con las soluciones de iluminación diurna y/o artificial dedicadas puede estimular a las personas y aumentar su bienestar. Las bandas recomendadas de variación están bajo consideración.”*

Los requisitos de alumbrado para áreas interiores, tareas y actividades se establecen en las tablas del capítulo 5. A continuación se indican los necesarios para el proyecto:

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Requisitos específicos
5.1.1	Áreas de circulación y pasillos	100	28	0,40	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iluminancia al nivel del suelo</li> <li><math>R_a</math> y <math>UGR</math> similares a áreas adyacentes</li> <li>150 lx si hay vehículos en el recorrido</li> <li>El alumbrado de salidas y entradas debe proporcionar una zona de transición para evitar cambios repentinos en iluminancia entre el interior y el exterior de día o de noche</li> <li>Debería tenerse cuidado para evitar el deslumbramiento del conductor y los peatones</li> </ul>
5.1.2	Escaleras, escaleras automáticas, cintas transportadoras	100	25	0,40	40	Requiere contraste mejorado sobre los escalones
5.1.3	Ascensores, montacargas	100	25	0,40	40	El nivel de iluminación en frente del montacargas debería ser al menos $\bar{E}_m = 200$ lx
5.1.4	Rampas/tramos de carga	150	25	0,40	40	

**Tabla 6.7. Zonas de tráfico dentro de edificios.** <sup>T 6.7</sup>

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Requisitos específicos
5.26.1	Archivo, copias, etc.	300	19	0,40	80	
5.26.2	Escritura, escritura a máquina, lectura, tratamiento de datos	500	19	0,60	80	Trabajo en EPV, véase el apartado 4.9
5.26.3	Dibujo técnico	750	16	0,70	80	
5.26.4	Puestos de trabajo de CAD	500	19	0,60	80	Trabajo en EPV, véase el apartado 4.9
5.26.5	Salas de conferencias y reuniones	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.26.6	Mostrador de recepción	300	22	0,60	80	
5.26.7	Archivos	200	25	0,40	80	

**Tabla 6.8. Oficinas.** <sup>T 6.8</sup>

<sup>T 6.7</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 5.1

<sup>T 6.8</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 5.26

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Requisitos específicos
5.28.1	Vestíbulo de entrada	100	22	0,40	80	$UGR$ sólo si es aplicable
5.28.2	Guardarropas	200	25	0,40	80	
5.28.3	Salones	200	22	0,40	80	
5.28.4	Oficinas de taquillas	300	22	0,60	80	

**Tabla 6.9. Lugares de pública concurrencia – Áreas comunes.** <sup>T 6.9</sup>

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Requisitos específicos
5.34.1	Rampas de acceso/salida (durante el día)	300	25	0,40	40	1. Iluminancias a nivel del suelo 2. Se deben reconocer los colores de seguridad
5.34.2	Rampas de acceso/salida (durante la noche)	75	25	0,40	40	1. Iluminancias a nivel del suelo 2. Se deben reconocer los colores de seguridad
5.34.3	Carriles de circulación	75	25	0,40	40	1. Iluminancias a nivel del suelo 2. Se deben reconocer los colores de seguridad
5.34.4	Áreas de aparcamiento	75	–	0,40	40	1. Iluminancias a nivel del suelo 2. Se deben reconocer los colores de seguridad 3. Una elevada iluminancia vertical aumenta el reconocimiento de las caras de las personas y, por ello, la sensación de seguridad
5.34.5	Caja	300	19	0,60	80	1. Deben evitarse los reflejos en las ventanas 2. Debe prevenirse el deslumbramiento desde el exterior

**Tabla 6.10. Lugares de pública concurrencia  
Aparcamientos de vehículos públicos (interior).** <sup>T 6.10</sup>

<sup>T 6.9</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 5.26

<sup>T 6.10</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 5.28

Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_s$ –	Requisitos específicos
5.36.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.36.2	Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable
5.36.3	Auditorium, sala de lectura	500	19	0,60	80	La iluminación debería ser controlable para colocar varias A/V necesarias
5.36.4	Pizarras negras, verdes y blancas	500	19	0,70	80	Deben evitarse las reflexiones especulares El presentador/profesor debe iluminarse con la iluminancia vertical adecuada
5.36.5	Mesa de demostraciones	500	19	0,70	80	En salas de lectura 750 lx
5.36.6	Aulas de arte	500	19	0,60	80	
5.36.7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	0,70	90	$5\,000\text{ K} \leq T_{cp} < 6\,500\text{ K}$
5.36.8	Aulas de dibujo técnico	750	16	0,70	80	
5.36.9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	0,60	80	
5.36.10	Aulas de manualidades	500	19	0,60	80	
5.36.11	Talleres de enseñanza	500	19	0,60	80	
5.36.12	Aulas de prácticas de música	300	19	0,60	80	
5.36.13	Aulas de prácticas de informática (guiado por menú)	300	19	0,60	80	Trabajo con EPV, véase el apartado 4.9
5.36.14	Laboratorio de lenguas	300	19	0,60	80	
5.36.15	Aulas de preparación y talleres	500	22	0,60	80	
5.36.16	Vestíbulo de entrada	200	22	0,40	80	
5.36.17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	0,40	80	
5.36.18	Escaleras	150	25	0,40	80	
5.36.19	Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	0,40	80	
5.36.20	Salas de profesores	300	19	0,60	80	
5.36.21	Biblioteca: estanterías	200	19	0,60	80	
5.36.22	Biblioteca: áreas de lectura	500	19	0,60	80	
5.36.23	Almacenes de material de profesores	100	25	0,40	80	
5.36.24	Salas de deportes, gimnasios, piscinas	300	22	0,60	80	Véase la Norma EN 12193 para las condiciones de entrenamiento
5.36.25	Cantinas escolares	200	22	0,40	80	
5.36.26	Cocina	500	22	0,60	80	

*Tabla 6.11. Establecimientos educativos – Edificios educativos.* <sup>T 6.11</sup>

<sup>T 6.11</sup> Fuente: EN 12464-1 - Tabla 5.34

### **6.1.3. UNE 12464-2 [24]**

La norma europea UNE EN 12464-2 de diciembre de 2008 indica los parámetros de iluminación en los lugares de trabajo exterior que se deben cumplir en la ejecución del proyecto.

La norma define las exigencias para alcanzar sus objetivos en términos de cantidad y calidad de iluminación. Al mismo tiempo, se proporcionan indicaciones para realizar un buen uso de la iluminación.

Para lograr este objetivo, es imprescindible tener en cuenta todos los capítulos de esta norma, teniendo especial importancia las exigencias definidas en tablas del capítulo 5.

La norma no aporta recursos concretos ni limita a los proyectistas a tomar decisiones y hacer uso de nuevas e innovadoras tecnologías. La iluminación puede suministrarse a través de luz diurna, iluminación artificial o combinándolas.

### 6.1.3.1. Términos y definiciones

Se emplean las definiciones incluidas en la Norma EN 12665, además de:

- ***“Toque de queda:*** tiempo durante el cual se aplicarán los requisitos más estrictos (para el control de luz indeseable); a menudo la autoridad controladora del gobierno, normalmente el gobierno, aplica una condición de uso de la iluminación.
- ***Diversidad ( $U_d$ ):*** relación de iluminancia mínima (luminancia) a iluminancia máxima (luminancia) de o sobre una superficie.
- ***Límite del índice de deslumbramiento ( $GR_L$ ):*** límite superior de deslumbramiento de acuerdo con el sistema de evaluación del deslumbramiento de la CIE.
- ***Iluminancia mantenida ( $\bar{E}_m$ ):*** valor<sup>25</sup> por debajo del cual no está permitido que descienda la iluminancia media en la superficie especificada.
- ***Luz indeseable:*** luz parásita que, debido a los atributos cuantitativos, direccionales o espectrales en un contexto dado, produce molestia, incomodidad, distracción o una reducción en la capacidad de ver información esencial.
- ***Luz parásita (luz difusa):*** luz emitida por una instalación de alumbrado que cae fuera de los límites de la propiedad para la que la instalación de alumbrado ha sido diseñada.
- ***Área circundante:*** banda <sup>26</sup> que rodea el área dentro del campo de visión.
- ***Uniformidad de la iluminancia ( $U_0$ ):*** relación de la iluminancia mínima (luminancia) a iluminancia media (luminancia) de o sobre una superficie.
- ***Relación de luz hacia arriba (ULR):*** proporción de flujo de la/s luminaria(s) que se emite por encima de la horizontal, cuando la/s luminarias(s) se montan en su posición y actitud de instalación.

---

<sup>25</sup> Valor que debería existir en el instante de mantenimiento

<sup>26</sup> Banda de mínimo 2 m de anchura

### 6.1.3.2. Criterios de diseño de iluminación

#### Ambiente luminoso

Para realizar una buena iluminación es fundamental cumplir con la iluminancia requerida y otras necesidades cualitativas y cuantitativas, satisfaciendo tres necesidades humanas básicas:

1. **Confort visual**, produciendo sensación de bienestar en los trabajadores, ya que indirectamente implica un aumento de la productividad y la calidad de trabajo;
2. **Rendimiento visual**, permitiendo a los trabajadores realizar sus tareas visuales hasta en condiciones difíciles y mayores períodos de tiempo;
3. **Seguridad**.

El ambiente luminoso se determina a partir de los siguientes parámetros fundamentales:

#### 1. Distribución de luminancias

Una buena distribución de la luminancia aumenta “*la agudeza visual, la sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de iluminancia relativamente pequeñas) y la eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimiento de ojo, etc).*” Deben evitarse cambios bruscos de luminancias.

#### 2. Iluminancia

“*Todos los valores de iluminancia especificados en esta norma europea son iluminancias mantenidas y satisfacen las necesidades de confort y rendimiento visual.*”

La iluminancia media para cada tarea debe ser, como mínimo, la establecida en las tablas del capítulo 5. Dichos valores son admitidos para condiciones visuales normales y consideran el “*confort visual y bienestar, los requisitos para tareas visuales, la ergonomía visual y la contribución a la seguridad funcional.*”

*El valor de iluminancia puede ajustarse en al menos un escalón en la escala de iluminancias, si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales, siendo un factor de aproximadamente 1,5 la menor diferencia significativa. La escala de iluminancias recomendada es:*”

5 – 10 – 15 - 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 – 2000 [lx]

“La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia de la tarea pero no debe ser menor que los valores dados en la Tabla 1.”

Iluminancia de tarea lux	Iluminancia de áreas circundantes lux
$\geq 500$	100
300	75
200	50
150	30
$50 \leq \bar{E}_m \leq 100$	20
$< 50$	no especificado

**Tabla 6.12. Relación entre iluminancias de áreas circundantes al área de tarea.** <sup>T 6.12</sup>

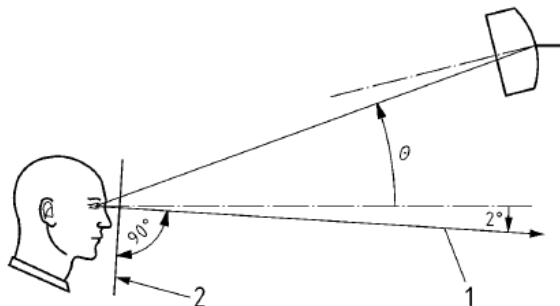
### 3. Deslumbramiento

Es fundamental reducir el deslumbramiento para impedir errores, la fatiga y accidentes.

$$\text{Índice de deslumbramiento GR} = 27 + 24 \log_{10} \left( \frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0,9}} \right)$$

Donde:

- “ $L_{vl}$  es la luminancia de velo total en  $\text{cd} \cdot \text{m}^2$  causada por la instalación eléctrica
- $L_{ve}$  es la luminancia de velo equivalente del entorno en  $\text{cd} \cdot \text{m}^2$ ”



**Figura 6.6. El ángulo entre la línea de visión del observador y la dirección de la luz incidente emitida por cada luminaria individual.** <sup>6.6</sup>

Donde:

- “1 es la línea de visión
- 2 es el plano de  $E_{ojo}$ ”

Los valores de GR no deben superar los valores de  $GR_L$  indicados en el capítulo 5.

<sup>T 6.12</sup> Fuente: EN 12464-2 - Tabla 1

<sup>6.6</sup> Fuente: EN 12464-2 - Figura 1



Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado

Se pueden evitar o reducir tomando las siguientes medidas:

- “disposición de lugares de trabajo en relación con las luminarias, ventanas y claraboyas;
- acabados de las superficies (superficies mates);
- limitación de luminancia de luminarias, ventanas y claraboyas;
- techo y paredes brillantes”

4. Luz indeseable

La contaminación luminosa puede generar problemas psicológicos y ecológicos para el entorno y las personas

Zona medioambiental	Luz en las propiedades		Intensidad de luminaria		Rendimiento superior	Luminancia	
	$E_v$ lux		$I$ cd		$ULR$ %	$L_b$ cd·m <sup>-2</sup>	$L_s$ cd·m <sup>-2</sup>
	Antes toque de queda <sup>a</sup>	Después toque de queda	Antes toque de queda	Después toque de queda		Fachada de un edificio	Signos
E1	2	0	2 500	0	0	0	50
E2	5	1	7 500	500	5	5	400
E3	10	2	10 000	1 000	15	10	800
E4	25	5	25 000	2 500	25	25	1 000
<sup>a</sup> En caso de que no haya disponibles reglamentaciones sobre el toque de queda, los valores mayores no deben sobrepasarse y los valores inferiores deberían tomarse como límites preferibles.							

**Tabla 6.13. Luz indeseable máxima permitida para instalaciones de iluminación exterior.** <sup>T 6.13</sup>

Donde:

- “E1 representa intrínsecamente áreas oscuras, tales como parques nacionales o lugares protegidos;
- E2 representa áreas de baja luminosidad, tales como zonas rurales, industriales o residenciales.”
- E3 representa áreas de luminosidad media, tales como suburbios industriales o residenciales;
- E4 representa áreas de luminosidad elevada, tales como centros de ciudad y áreas comerciales;
- $E_v$  es el valor máximo de iluminancia vertical en propiedades en lux;

<sup>T 6.13</sup> Fuente: EN 12464-2 - Tabla 2

- $I$  es la intensidad luminosa de cada fuente en la dirección potencialmente indeseable en cd;
- $ULR$  es la proporción del flujo de la(s) luminaria(s) que se emite por encima de la horizontal, cuando se monta(n) en su posición de instalación y actitud, dada en %;
- $L_b$  es la luminancia media máxima de la fachada e un edificio en  $\text{cd} \cdot \text{m}^2$ ;
- $L_s$  es la luminancia media máxima de las señales en  $\text{cd} \cdot \text{m}^2$ .

Parámetro técnico de iluminación	Clases de alumbrado de carreteras <sup>a</sup>			
	No hay alumbrado de carreteras	ME5	ME4/ME3	ME2/ME1
Incremento de umbral (TI) <sup>b c d</sup>	15% basado en una luminancia de adaptación de $0,1 \cdot \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	15% basado en una luminancia de adaptación de $1 \cdot \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	15% basado en una luminancia de adaptación de $2 \cdot \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	15% basado en una luminancia de adaptación de $5 \cdot \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
<sup>a</sup> Las clases de alumbrado de carreteras se recogen en la Norma EN 13201-2. <sup>b</sup> El cálculo de TI se recoge en la Norma EN 13201-3. <sup>c</sup> Los límites se aplican cuando los usuarios de sistemas de transporte están sometidos a una reducción de la capacidad de ver información esencial. Los valores dados corresponden a posiciones relevantes y a direcciones de visión en el trayecto de desplazamiento. <sup>d</sup> La tabla 5.2 en la CIE 150:2003 da valores correspondientes para la luminancia de velo $L_v$ .				

**Tabla 6.14. Valores máximos de incremento de umbral para instalaciones de alumbrado que no son de carretera.** <sup>T 6.14</sup>

## 5. Iluminación direccional de tareas visuales

“Las cualidades de color de una lámpara próxima al blanco o de luz diurna transmitida están caracterizadas por dos atributos:

- la apariencia de color de la lámpara;
- sus capacidades para la reproducción cromática, que afectan a la apariencia de color de objetos y personas.

Estos dos atributos deben ser considerador por separado.”

### Apariencia de color

“La elección de la apariencia de color es una cuestión de psicología, estética y que se considere como natural.”

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada $T_{CP}$ K
Cálida	Inferior a 3 300
Intermedia	De 3 300 a 5 300
Fría	Superior a 5 300

**Tabla 6.15. Grupos de apariencia de color de lámparas.** <sup>T 6.15</sup>

### Rendimiento de colores

En el capítulo 5 se indican los valores mínimos recomendados para distintas áreas.

### 6. Parpadeo y efectos estroboscópicos

*“El parpadeo causa distracción y puede dar lugar a efectos fisiológicos tales como los dolores de cabeza.*

*Los efectos estroboscópicos pueden conducir a situaciones peligrosas cambiando el movimiento percibido de maquinaria giratoria o que se mueve en vaivén.”*

Debido a ello, la iluminación debe evitar ambos fenómenos.

### 7. Factor de mantenimiento

El proyecto debe contar con un factor de mantenimiento total (FM) ajustado al alumbrado, ambiente y programa de mantenimiento señalado.

Se deberá crear un plan de mantenimiento “que incluya la frecuencia de reemplazamiento de la lámpara y luminaria, y los intervalos de limpieza del acristalamiento y de la sala y el método de limpieza.

<sup>T 6.15</sup> Fuente: EN 12464-2 - Tabla 4

### 6.1.3.3. Inventario de requisitos de iluminación

Los requisitos de alumbrado para áreas exteriores, tareas y actividades se establecen en las tablas del capítulo 5.3. A continuación se indican los necesarios para el proyecto:

N° ref.	Tipo de área, tarea o actividad	$\bar{E}_m$ lux	$U_o$ –	$GR_L$ –	$R_a$ –	Observaciones
5.1.1	Aceras reservadas exclusivamente para peatones	5	0,25	50	20	
5.1.2	Áreas de tráfico para vehículos que se desplazan lentamente (máx. 10 km/h), como las bicicletas, camiones y excavadoras	10	0,40	50	20	
5.1.3	Tráfico regular de vehículos (máx. 40 km/h)	20	0,40	45	20	En astilleros y en muelles $GR_L$ puede ser 50
5.1.4	Pasos de peatones, puntos de giro, de carga y descarga de vehículos	50	0,40	50	20	

**Tabla 6.16. Áreas de circulación en lugares de trabajo en exteriores.** <sup>T 6.16</sup>

N° ref.	Tipo de área, tarea o actividad	$\bar{E}_m$ lux	$U_o$ –	$GR_L$ –	$R_a$ –	Observaciones
5.9.1	Tráfico ligero, por ejemplo, áreas de aparcamiento de tiendas, casas adosadas y edificios de apartamentos; parques de bicicletas	5	0,25	55	20	
5.9.2	Tráfico medio, por ejemplo, áreas de aparcamiento de almacenes comerciales, edificios de oficinas, plantas, complejos deportivos y multiusos	10	0,25	50	20	
5.9.3	Tráfico pesado, por ejemplo, áreas de aparcamiento de escuelas, iglesias, centros comerciales importantes, complejos deportivos y multiusos importantes	20	0,25	50	20	

**Tabla 6.17. Áreas de aparcamiento.** <sup>T 6.17</sup>

<sup>T 6.16</sup> Fuente: EN 12464-2 - Tabla 5.1

<sup>T 6.17</sup> Fuente: EN 12464-2 - Tabla 5.9

## 6.2. Metodología de estudio en auditorías energéticas y eficiencia energética

### 6.2.1. RD 56-2016 [25]

*“Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.”*

La Unión Europea estableció el objetivo de incrementar un 20 % la eficiencia energética para el año 2020, de modo que se reforzaría la seguridad del suministro energético y se reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes.

Las Universidades están sujetas a las disposiciones generales de este RD.

D./D.<sup>a</sup> .....  
 mayor de edad, con documento nacional de identidad número .....  
 en nombre y representación de .....  
 con domicilio social en ....., NIF .....  
 teléfono de contacto ....., y correo electrónico .....

Declaro bajo mi responsabilidad, a efectos de cumplir lo establecido en el Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, que D....., auditor cualificado, ha realizado para la empresa ....., con fecha ..... una auditoría energética en sus instalaciones de....., y que la auditoría realizada:

a) Cumple todos los requisitos establecidos en el artículo 3 del Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero.

b) Que refleja la siguiente información:

a. Ahorro energético estimado.....  
 b. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas (tCO<sub>2</sub>e).....  
 c. Inversión estimada para acometer las mejoras señaladas en la auditoría.....  
 d. Consumo energético (kWh/año).....  
 e. Periodo de retorno de la inversión.....  
 f. Ahorros energéticos correspondientes a las mejoras implementadas derivadas de la última comunicación relativa a la realización de una auditoría energética .....

c) Que se dispone de la documentación que acredita el cumplimiento de los citados requisitos, y que se comprometo a conservarlos y ponerlos a disposición de la autoridad competente, para su inspección de acuerdo con el artículo 5 del Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone parcialmente la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, promoción de la eficiencia del suministro de energía.

En ..... a ..... de ..... de

Firma

**Figura 6.7. Modelo de comunicación relativo a la realización de una auditoría energética.**<sup>6.7</sup>

<sup>6.7</sup> Fuente: RD 56-2016

Una **auditoría energética** es un procedimiento sistemático y documentado que sirve para adquirir datos del perfil de consumo de energía de una instalación y evaluarlos para poder considerar y fijar medidas de ahorro de energía eficaces.

El **auditor energético** es la persona capacitada para llevar a cabo una auditoría energética.

La auditoría energética cumple las directrices del apartado 3 del RD, cada cuatro años:

- 1) Se justifican en datos actualizados y revisados de consumo de energía.
- 2) Incluyen un estudio detallado del perfil de consumo de los edificios e instalaciones.
- 3) Se basarán en criterios de rentabilidad en el examen de coste del ciclo de vida y no solo en períodos de amortización, para determinar:
  - Ahorro a largo plazo.
  - Valor residual de la inversión (valor al fin de la vida útil)
  - Tasas de descuento (valor actual de un pago futuro)
- 4) Mostrarán cálculos detallados que demuestren el potencial de ahorro.
- 5) Los datos deben poderse almacenar para realizar estudios históricos y conocer la trazabilidad del comportamiento energético (SGE) <sup>27</sup>.
- 6) Las auditorías deben conservarse y las empresas deben actualizar cambios y ponerlas a disposición de las autoridades inspectoras.

*“Si se dispone de certificado de eficiencia energética podrá formar parte de la auditoría energética, siempre y cuando incluya recomendaciones en eficiencia energética según directrices del apartado 3.”*

Un mal cumplimiento o el incumplimiento de la auditoría conllevarán sanciones<sup>28</sup>:

Infracción	Motivo	Sanción
Muy grave	No hacer la auditoría	60.000€
Grave	Llevarla a cabo incorrectamente	10.000€
Leve	No comunicarla	1.000€

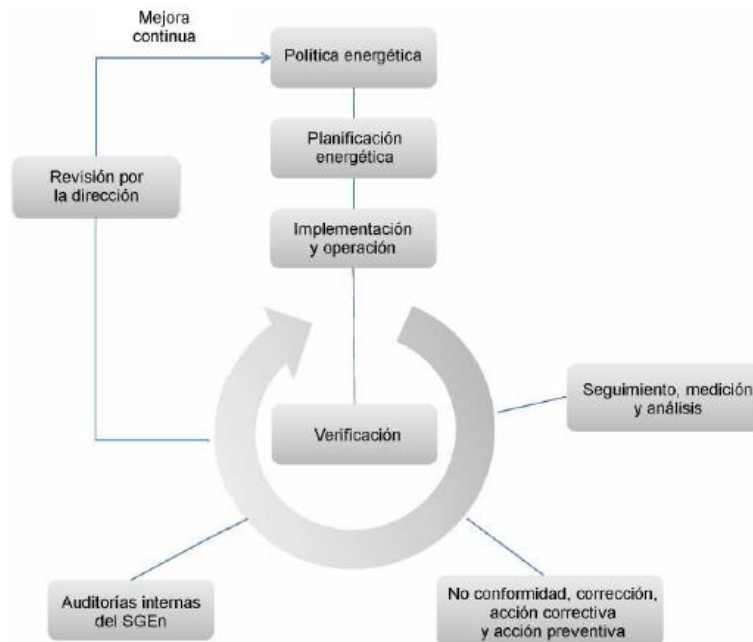
---

<sup>27</sup> Sistema de Gestión de Energía

<sup>28</sup> Conforme a los artículos 80 y 81 de la Ley 18/2014, de 15 de octubre

Una de las medidas de ahorro energético es aplicar el uso de un SGE certificado según la norma ISO 50001, que cumpla las directrices del apartado 3 del RD.

*“El SGE consiste en el ciclo de mejora continua (PHVA) e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización.*



**Figura 6.8. Modelo de comunicación relativo a la realización de una auditoría energética.** <sup>6.8</sup>

Un SGE es especialmente adecuado cuando:

- Se dispone de un sistema de gestión de acuerdo a normas ISO, pues facilita mucho la implantación de un SGE.
- Empresas multisite pues facilita el control y mejora el comportamiento energético de conjuntos de emplazamientos.
- Usos de las instalaciones muy variables.

*El órgano de la comunidad autónoma o de las ciudades de Ceuta o Melilla competente en materia de eficiencia energética llevará a cabo, establecerá y aplicará un sistema de inspección de la realización de las auditorías energéticas independiente.*

*La inspección tendrá como finalidad verificar si se ha realizado la auditoría energética y, comprobar si ésta cumple con todos los requisitos exigibles.”*

<sup>6.8</sup> Fuente: [http://asociacion3e.org/img/11a3e\\_1463483927\\_a.pdf](http://asociacion3e.org/img/11a3e_1463483927_a.pdf)

### 6.2.2. UNE-EN 16247-2 [26]

La norma UNE-EN 16247-2 establece los requisitos específicos para realizar auditorías en edificios y debe aplicarse junto a la norma UNE-EN 16247-1, que especifica los requisitos generales, la metodología común y los entregables de las auditorías energéticas.

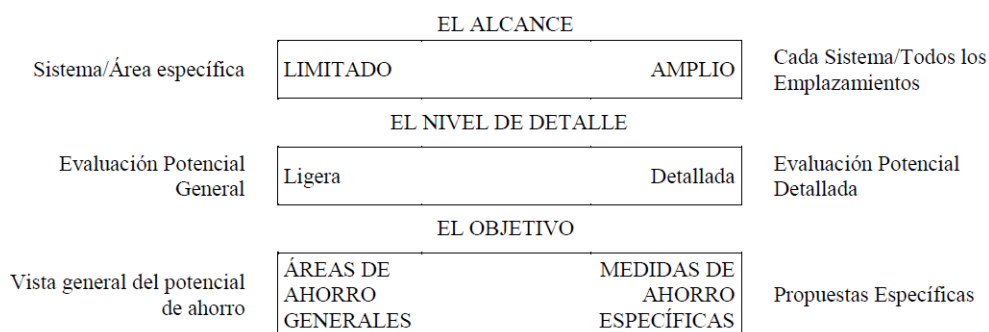
Las auditorías energéticas en edificios pueden ser del edificio completo o parcialmente.

Los principales pasos del proceso de auditoría energética se muestran a continuación:



**Figura 6.9. Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética.** <sup>6.9</sup>

La auditoría energética puede tener distintos niveles de detalle.



**Figura 6.10. Alcance, nivel de detalle y objetivo de auditoría.** <sup>6.10</sup>

El proyecto tiene un amplio alcance, pues incluye seis edificios, jardines y vías peatonales del campus. El objetivo es aumentar la eficiencia energética del alumbrado interior y exterior de las instalaciones mediante el cambio de iluminación a tecnologías de iluminación más eficientes y al uso de sistemas de control y regulación del flujo luminoso. Para llevar a cabo la auditoría se realizó una evaluación detallada de prácticamente todas las instalaciones de iluminación existentes.

El auditor realiza una lista de verificación, que le sirve de guía, en la que reúne la información conveniente para realizar un estudio y evaluar las posibles mejoras.

<sup>6.9</sup> Fuente: UNE-EN 16247-2. Anexo A y elaboración propia

<sup>6.10</sup> Fuente: UNE-EN 16247-2. Anexo C. Tabla C1



Elemento principal	Lugares a visitar	Verificar
Envolvente del edificio	Propiedades relacionadas con la iluminación diurna, incluyendo los acristalados	
Sistema de iluminación	Salas de muestra, según uso	
	Áreas comunes	
	Áreas externas	
Sistema de control	Salas de muestra, según uso	
	Áreas comunes	
	Áreas externas	

Para llevar a cabo su tarea será de gran utilidad el uso de planos y documentos existentes del edificio a estudiar. Siempre se deberá comprobar que todo esté actualizado.

Algunos documentos útiles son:

- Planos del edificio e instalaciones
- Certificado de registro energético
- Horarios de operación de los sistemas
- Datos históricos

El indicador de energía eléctrica anual es el kWh/(m<sup>2</sup>·año) o kWh/(m<sup>3</sup>·año). Pueden usarse también indicadores parecidos, basados en el CO<sub>2</sub> o en costes.

La auditoría indicará ejemplos de oportunidades de mejora de la eficiencia energética del edificio, como son:

- La sustitución de las actuales tecnologías de iluminación por otras más eficientes.
- Un mantenimiento mejorado gracias a un nuevo plan de operación y mantenimiento.
- Un uso más eficiente, modificando los horarios de operación y ajustando el control.
- Informar y concienciar sobre un buen uso de la energía.

El auditor clasificará las soluciones de mejora de la energía como:

<b>Clasificación de la mejora</b>	
Sin coste	Ajuste del punto de horarios, apagado de luces, etc
Bajo coste	Añadir o mejorar los controles
Inversiones de alto coste	Modificaciones en la envolvente y sistema técnico. Uso de energía renovable, etc

Las auditorías pueden clasificar los medios de mejora de la eficiencia energética por el tiempo de retorno simple, pero también se puede hacer uso de otros estudios más detallados, como:

- Evaluación del Coste del Ciclo de Vida
- TIR<sup>29</sup>
- VAN<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Tasa Interna de Retorno

<sup>30</sup> Valor Actual Neto

### 6.2.3. RD 1890-2008 [27]

*“REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.”*

El reglamento dispone las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben cumplir las instalaciones de alumbrado exterior para mejorar la eficiencia, lograr ahorrar energía, disminuir las emisiones de gases que provocan efecto invernadero y restringir la contaminación luminosa y la luz intrusa o molesta.

Se aplica en instalaciones de más de 1 kW de potencia instalada incluidas en las ITC-BT número 9, 31 y 34 del REBT <sup>31</sup>, aprobadas en el RD 842/2002, de 2 de agosto.

El campus abarca vías peatonales, parques, jardines y zonas de paso de vehículos a baja velocidad, incluidas en la ITC-BT 09. Debido a ello, es necesario el uso de alumbrado vial (*Funcional y ambiental*) y *específico*.

El reglamento se aplica en:

- a) Nuevas instalaciones, sus reformas y sus ampliaciones.
- b) Instalaciones previas al reglamento, si la Administración Pública oportuna lo precise tras un estudio de eficiencia energética o si se reforman o amplían en más del 50% de la potencia o luminarias instaladas.

No se aplica en *“instalaciones y equipos de uso exclusivo en minas, usos militares, regulación de tráfico, balizas, faros, señales marítimas, aeropuertos y otras instalaciones y equipos que estuvieran sujetos a reglamentación específica.”*

Para lograr la eficiencia energética necesaria en las instalaciones de alumbrado exterior se deben cumplir mínimo los siguientes requisitos:

---

<sup>31</sup> Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión

*“1º- Los niveles de iluminación de la instalación no superen lo establecido en la instrucción técnica complementaria ITC-EA 02, salvo casos excepcionales, que requerirán autorización previa del órgano competente de la Administración Pública.*

*2º- Para el alumbrado vial, se cumplan los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en la ITC-EA-01. Para el resto de instalaciones de alumbrado, se cumplan los requisitos de factor de utilización, pérdidas de los equipos, factor de mantenimiento y otros establecidos en las instrucciones técnicas complementarias correspondientes.*

*3º - En donde se requiera, dispongan de un sistema de accionamiento y de regulación del nivel luminoso, tal y como se define en la ITC-EA-04.”*

### 6.2.3.1. ITC EA-01: Eficiencia energética de una instalación

*“La eficiencia energética de una instalación es la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.”*

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left( \frac{m^2 \cdot lx}{W} \right)$$

Donde:

- *“ $\varepsilon$  es la eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior*
- *S es la potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares)*
- *R es la superficie iluminada*
- *$E_m$  es la iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto”*

Su valor se puede obtener también a partir de los siguientes factores:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left( \frac{m^2 \cdot lx}{W} \right)$$

Donde:

- ***“Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares ( $\varepsilon_L$ ): es la relación entre el flujo emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.***
- ***Factor de mantenimiento de la instalación ( $f_m$ ): es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.***
- ***Factor de utilización de la instalación ( $f_u$ ): es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas en las luminarias.”***

La eficiencia mejorará cuanto más aumente el valor de cada factor.

El presente proyecto requiere instrucciones para la instalación de alumbrado vial ambiental, realizado normalmente en postes de baja altura (entre los 3 y 5 metros), para iluminar vías peatonales, jardines y vías de velocidad limitada.

Iluminancia media en servicio $E_m(\text{lux})$	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{luz}}{\text{W}}\right)$
$\geq 20$	9
15	7,5
10	6
7,5	5
$\leq 5$	3,5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

**Tabla 6.18. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental.** <sup>T 6.18</sup>

### **Calificación energética de las instalaciones**

“Las instalaciones de alumbrado exterior se calificarán energéticamente en función de su índice de eficiencia energética, mediante una etiqueta de calificación energética según se especifica en la ITC-EA-01. Dicha etiqueta se adjuntará en la documentación del proyecto y deberá figurar en las instrucciones que se entreguen a los titulares, según lo especificado en el artículo 10 del reglamento.”

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

Donde:

- “  $I_{\varepsilon}$  es el índice de eficiencia energética
- $\varepsilon$  es la eficiencia energética de la instalación
- $\varepsilon_R$  es la eficiencia energética de referencia en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada”

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada $E_m(\text{lux})$	Eficiencia energética de referencia $\varepsilon_R$ $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{luz}}{\text{W}}\right)$	Iluminancia media en servicio proyectada $E_m(\text{lux})$	Eficiencia energética de referencia $\varepsilon_R$ $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{luz}}{\text{W}}\right)$
$\geq 30$	32	—	—
25	29	—	—
20	26	$\geq 20$	13
15	23	15	11
10	18	10	9
$\leq 7,5$	14	7,5	7
—	—	$\leq 5$	5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

**Tabla 6.19. Valores de eficiencia energética de referencia.** <sup>T 6.19</sup>

<sup>T 6.18</sup> Fuente: ITC EA-01. Tabla 2

<sup>T 6.19</sup> Fuente: ITC EA-01. Tabla 3

“Para facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras y un índice de consumo energético ICE, que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:”

$$ICE = \frac{1}{I_e}$$

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	ICE < 0,91	I <sub>e</sub> > 1,1
B	0,91 ≤ ICE < 1,09	1,1 ≥ I <sub>e</sub> > 0,92
C	1,09 ≤ ICE < 1,35	0,92 ≥ I <sub>e</sub> > 0,74
D	1,35 ≤ ICE < 1,79	0,74 ≥ I <sub>e</sub> > 0,56
E	1,79 ≤ ICE < 2,63	0,56 ≥ I <sub>e</sub> > 0,38
F	2,63 ≤ ICE < 5,00	0,38 ≥ I <sub>e</sub> > 0,20
G	ICE ≥ 5,00	I <sub>e</sub> ≤ 0,20

Tabla 6.20. Clasificación energética de una instalación de alumbrado. <sup>T 6.20</sup>

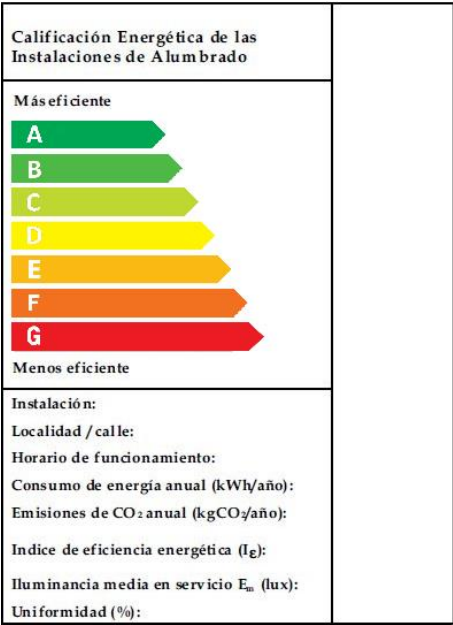


Figura 6.11. Etiqueta calificación energética de las instalaciones de alumbrado. <sup>6.11</sup>

<sup>T 6.20</sup> Fuente: ITC EA-01. Tabla 4

<sup>6.11</sup> Fuente: [suelosolar.com/images/etiquetacalificacionenergetica\\_opt.jpg](http://suelosolar.com/images/etiquetacalificacionenergetica_opt.jpg) y elaboración propia

### 6.2.3.2. ITC EA-02: Niveles de iluminación

Establece las exigencias luminotécnicas o fotométricas, no pudiéndose superar en más de un 20 % los valores establecidos en las diferentes tablas.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	—
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v < 5$

Tabla 6.21. Clasificación de las vías. <sup>T 6.21</sup>

El proyecto incluye vías de baja velocidad y peatonales (D y E).

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>
C1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas</li> </ul> Flujo de tráfico de ciclistas Alto ..... Normal .....	S1 / S2 S3 / S4
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías.</li> <li>• Aparcamientos en general.</li> <li>• Estaciones de autobuses.</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones Alto ..... Normal .....	CE1A / CE2 CE3 / CE4
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada</li> <li>• Zonas de velocidad muy limitada</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones y ciclistas Alto ..... Normal .....	CE2 / S1 / S2 S3 / S4

<sup>(1)</sup> Para todas las situaciones de alumbrado C1-D1-D2-D3 y D4, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Tabla 6.22. Clases de alumbrado para vías tipo C y D. <sup>T 6.22</sup>

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>
E1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada.</li> <li>• Paradas de autobús con zonas de espera</li> <li>• Áreas comerciales peatonales.</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones Alto ..... Normal .....	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4
E2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones.</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones Alto ..... Normal .....	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4

<sup>(1)</sup> Para todas las situaciones de alumbrado E1 y E2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Tabla 6.23. Clases de alumbrado para vías tipo E. <sup>T 6.23</sup>

<sup>T 6.21</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 1

<sup>T 6.22</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 4

<sup>T 6.23</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 5



Clase de Alumbrado <sup>(1)</sup>	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media $E_m$ (lux) <sup>(1)</sup>	Iluminancia mínima $E_{min}$ (lux) <sup>(2)</sup>
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

**Tabla 6.24. Series S de clase de alumbrado para viales tipos C, D y E.** <sup>T 6.24</sup>

Clase de Alumbrado ( <sup>1</sup> )	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media $E_m$ (lux) [mínima mantenida <sup>(1)</sup> ]	Uniformidad Media $U_m$ [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

<sup>(2)</sup> También se aplican en espacios utilizados por peatones y ciclistas.

**Tabla 6.25. Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E.** <sup>T 6.25</sup>

En cuanto al alumbrado ornamental de los edificios:

NATURALEZA DE LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE ILUMINADA	NIVELES DE ILUMINANCIA MEDIA (Lux) <sup>(1)</sup>			COEFICIENTES MULTIPLICADORES DE CORRECCIÓN <sup>(2)</sup>			
	Iluminación de los alrededores			Corrección para el tipo de lámpara		Corrección para el estado de la superficie iluminada	
	Baja	Media	Elevada	H.M. V.M.	S.A.P. S.B.P.	Sucia	Muy Sucia
Piedra clara, mármol claro	20	30	60	1,0	0,9	3,0	5,0
Piedra media, cemento, mármol coloreado claro	40	60	120	1,1	1,0	2,5	5,0
Piedra oscura, granito gris, mármol oscuro	100	150	300	1,0	1,1	2,0	3,0
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1,2	0,9	2,5	5,0
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1,2	0,9	2,0	4,0
Ladrillo marrón oscuro, granito rosa	55	80	160	1,3	1,0	2,0	4,0
Ladrillo rojo	100	150	300	1,3	1,0	2,0	3,0
Ladrillo oscuro	120	180	360	1,3	1,2	1,5	2,0
Hormigón arquitectónico	60	100	200	1,3	1,2	1,5	2,0
REVESTIMIENTO DE ALUMINIO:							
- Terminación natural	200	300	600	1,2	1,1	1,5	2,0
- termolacado muy coloreado (10%) rojo, marrón, amarillo	120	180	360	1,3	1,0	1,5	2,0
- termolacado muy coloreado (10%) azul-verdoso	120	180	360	1,0	1,3	1,5	2,0
- termolacado colores medios (30-40%) rojo, marrón, amarillo	40	60	120	1,2	1,0	2,0	4,0
- termolacado colores medios (30-40%) azul-verdoso	40	60	120	1,0	1,2	2,0	4,0
- termolacado colores pastel (60-70%) rojo, marrón, amarillo	20	30	60	1,1	1,0	3,0	5,0
- termolacado colores pastel (60-70%) azul-verdoso	20	30	60	1,0	1,1	3,0	5,0

<sup>(1)</sup> Valores mínimos de iluminancia media en servicio con mantenimiento de la instalación sobre la superficie limpia iluminada con lámparas de incandescencia.

<sup>(2)</sup> Coeficientes multiplicadores de corrección para lámparas de halogenuros metálicos (H.M.), vapor de mercurio (V.M.), de vapor de sodio a alta presión (S.A.P.) y a baja presión (S.B.P.), así como para el estado de limpieza de la superficie iluminada.

**Tabla 6.26. Niveles mínimos de iluminancia media en servicio del alumbrado ornamental.** <sup>T 6.26</sup>

<sup>T 6.24</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 8

<sup>T 6.25</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 9

<sup>T 6.26</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 11

### Deslumbramientos

Para instalaciones de alumbrado vial funcional:

Clase de Intensidad	Intensidad Máxima (cd/klm) <sup>(1)</sup>			Otros requisitos
	$70^\circ \leq \gamma < 80^\circ$	$80^\circ \leq \gamma < 90^\circ$	$\gamma \geq 90^\circ$	
G1	-	200	50	Ninguno
G2	-	150	30	Ninguno
G3	-	100	20	Ninguno
G4	500	100	10	Intensidades por encima de $95^\circ$ deben ser cero
G5	350	100	10	
G6	350	100	0	Ninguno

<sup>(1)</sup> Todas las intensidades son proporcionales al flujo de la lámpara para 1.000 lm.  
 NOTA: Las clases de intensidad G1, G2 y G3 corresponden a distribuciones fotométricas "semi cut-off" y "cut-off", de uso tradicional. Las clases de intensidad G4, G5 y G6 se asignan a luminarias con distribución "cut-off" total, como las luminarias de cierre de vidrio plano en la posición horizontal.

**Tabla 6.27. Clases G de intensidad luminosa de las luminarias.** <sup>T 6.27</sup>

Para instalaciones de alumbrado vial funcional a baja altura:

$$D = L \cdot A^{-0,5} \text{ cd/m}^2$$

Donde:

- "I es el valor máximo de la intensidad luminosa (cd) en cualquier dirección que forme un ángulo de  $85^\circ$  con la vertical
- A es el área aparente ( $\text{m}^2$ ) de las partes luminosas de la luminaria en un plano perpendicular a la dirección de la intensidad (I)

*Si en la dirección de la I, son visibles partes de la fuente luminosa, bien directamente o bien como imágenes, se aplicará la clase D0, usando fuentes de bajo brillo."*

Clase	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Índice de deslumbramiento máximo	-	7.000	5.500	4.000	2.000	1.000	500

**Tabla 6.28. Clases D de índice de deslumbramiento.** <sup>T 6.28</sup>

Para instalaciones de alumbrado vial funcional a una altura superior a los 4,5 m:

Altura de Montaje	Clases D
$h \leq 4,5$	D3
$4,5 < h \leq 6$	D2
$h > 6$	D1

**Tabla 6.29. Índice de deslumbramiento en función de la altura de montaje.** <sup>T 6.29</sup>

Deslumbramiento	Índice GR
Insignificante	10
Ligero	30
Límite admisible	50
Molesto	70
Insoportable	90

**Tabla 6.30. Evaluación del deslumbramiento mediante el índice GR.** <sup>T 6.30</sup>

<sup>T 6.27</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 10

<sup>T 6.28</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 15

<sup>T 6.29</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 16

<sup>T 6.30</sup> Fuente: ITC EA-02. Tabla 17

### 6.2.3.3. ITC EA-03: Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta

*“Luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas suspendidas en la atmósfera, procedente, entre otros orígenes, de las instalaciones de alumbrado exterior”*

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	<b>ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS:</b> Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.), donde las carreteras están sin iluminar.
E2	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA:</b> Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA:</b> Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA:</b> Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

**Tabla 6.31. Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa.** <sup>T 6.31</sup>

Limitaciones de las emisiones luminosas:

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO $F_{HS_{INST}}$
E1	$\leq 1\%$
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$
E4	$\leq 25\%$

**Tabla 6.32. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.** <sup>T 6.32</sup>

<sup>T 6.31</sup> Fuente: ITC EA-03. Tabla 1

<sup>T 6.32</sup> Fuente: ITC EA-03. Tabla 2

Limitaciones de la luz intrusa o molesta:

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical ( $E_v$ )	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias ( $I$ )	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas ( $L_m$ )	5 cd/m <sup>2</sup>	5 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>	25 cd/m <sup>2</sup>
Luminancia máxima de las fachadas ( $L_{max}$ )	10 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>	60 cd/m <sup>2</sup>	150 cd/m <sup>2</sup>
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ( $L_{max}$ )	50 cd/m <sup>2</sup>	400 cd/m <sup>2</sup>	800 cd/m <sup>2</sup>	1.000 cd/m <sup>2</sup>
Incremento de umbral de contraste ( $TI$ )	Clase de Alumbrado			
	Sin iluminación $TI = 15\%$ para adaptación a $L = 0,1$ cd/m <sup>2</sup>	ME 5 $TI = 15\%$ para adaptación a $L = 1$ cd/m <sup>2</sup>	ME3 / ME4 $TI = 15\%$ para adaptación a $L = 2$ cd/m <sup>2</sup>	ME1 / ME2 $TI = 15\%$ para adaptación a $L = 5$ cd/m <sup>2</sup>

**Tabla 6.33. Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior.** <sup>T 6.33</sup>

#### 6.2.3.4. ITC EA-04: Componentes de las instalaciones

Las lámparas incluidas en la instalación del alumbrado exterior deben tener una eficacia luminosa con valor:

	Eficacia luminosa [lm/W]
<b>Alumbrado de vigilancia y seguridad nocturna y de señales y anuncios luminosos</b>	40
<b>Alumbrado vial, específico y ornamental</b>	65

Las luminarias incluidas en la instalación del alumbrado exterior deben tener una eficacia luminosa con valor:

PARÁMETROS	ALUMBRADO VIAL		RESTO ALUMBRADOS (1)	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	≥ 65%	≥ 55%	≥ 55%	≥ 60%
Factor de utilización	(2)	(2)	≥ 0,25	≥ 0,30
(1) A excepción de alumbrado festivo y navideño. (2) Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01.				

**Tabla 6.34. Características de las luminarias y proyectores.** <sup>T 6.34</sup>

<sup>T 6.33</sup> Fuente: ITC EA-03. Tabla 3

<sup>T 6.34</sup> Fuente: ITC EA-04. Tabla 1, valores del RD 838/2002, de 2 de agosto

### Prescripciones específicas de los proyectores

*“Los proyectores son luminarias cuya distribución fotométrica, conseguida mediante un sistema óptico especialmente diseñado, permite la iluminación a cierta distancia de la ubicación del proyector.*

*A fin de conseguir una elevada eficiencia energética, cuando se utilicen proyectores para la iluminación de superficies horizontales, deberán cumplirse los siguientes aspectos:*

- a) Se emplearán preferentemente proyectores del tipo asimétrico con objeto de controlar la luz emitida hacia el hemisferio superior.*
- b) El ángulo de inclinación en el emplazamiento, que corresponde al valor de  $I_{máx}/2$  situado por encima de la intensidad máxima ( $I_{máx}$ ) emitida por el proyector, será inferior a  $70^\circ$  respecto a la vertical. Es decir, que la inclinación de la intensidad máxima ( $I_{máx}$ ) debe ser inferior a:*
  - b.1.-  $60^\circ$  para un proyector cuyo semiángulo de apertura encima de la  $I_{máx}$  sea de  $10^\circ$ .*
  - b.2.-  $65^\circ$  para un proyector cuyo semiángulo de apertura encima de la  $I_{máx}$  sea de  $5^\circ$ .*

*No obstante, en todo caso, el ángulo de inclinación correspondiente a la intensidad máxima ( $I_{máx}$ ) será inferior a  $70^\circ$  respecto a la vertical.*

- c) La intensidad en ángulos superiores a  $85^\circ$  emitida por el proyector, se limitará a 50 cd/klm como máximo.*

*En la iluminación de superficies verticales, como por ejemplo, la ornamental de fachadas y monumentos, siempre que resulte factible, deberán cumplirse los siguientes aspectos:*

- a) Con objeto de controlar la luz, se emplearán preferentemente proyectores del tipo asimétrico o que dispongan del apantallamiento preciso.*
- b) La iluminación deberá realizarse preferentemente en sentido descendente, es decir, de arriba hacia abajo.*
- c) Cuando esto resulte imposible, deberá tratarse que la línea de intensidad máxima del proyector no sobrepase la horizontal en más de  $30^\circ$*

*d) El flujo luminoso emitido por el proyector se ajustará a la superficie a iluminar y, en todo caso, no se proyectará fuera de la referida superficie una intensidad luminosa superior a 50 cd/klm.”*

La potencia eléctrica máxima consumida por el conjunto del equipo auxiliar y lámpara de descarga no debe superar los valores establecidos en la tabla 2:

POTENCIA NOMINAL DE LÁMPARA (W)	POTENCIA TOTAL DEL CONJUNTO (W)			
	SAP	HM	SBP	VM
18	--	--	23	--
35	--	--	42	--
50	62	--	--	60
55	--	--	65	--
70	84	84	--	--
80	--	--	--	92
90	--	--	112	--
100	116	116	--	--
125	--	--	--	139
135	--	--	163	--
150	171	171	--	--
180	--	--	215	--
250	277	270 (2,15A) 277 (3A)	--	270
400	435	425 (3,5A) 435 (4,6A)	--	425

**Tabla 6.35. Potencia máxima del conjunto lámpara y equipo auxiliar.** <sup>T 6.35</sup>

Las instalaciones de alumbrado exterior con potencia de lámparas y equipos auxiliares superior a 5 kW tendrán accionamientos a partir de relojes astronómicos o sistemas de encendido centralizado y las de potencia menor o igual a 5 kW mediante fotocélulas.

Para ahorrar energía, el alumbrado contará con dispositivos o sistemas de regulación del nivel luminoso mediante:

- “balastos serie de tiempo inductivo para doble nivel de potencia;
- reguladores-estabilizadores en cabecera de línea;
- balastos electrónicos de potencia regulable.”

Se deberá poder reducir el flujo emitido hasta un 50% del valor de servicio nominal, conservando la uniformidad de las cotas de iluminación a lo largo el período de actividad reducida.

<sup>T 6.35</sup> Fuente: ITC EA-04. Tabla 2, valores del RD 838/2002, de 2 de agosto

## Capítulo 7

### Estado actual de las instalaciones

En el presente capítulo se mostrarán los datos reunidos en la auditoría realizada:

- **Edificio y zonas de trabajo:** se indicará el edificio y se especificarán todas las diferentes áreas a estudiar en el proyecto.
- **Superficie de cada área de trabajo:** se mostrarán las superficies de cada zona, pudiendo cuantificar y diferenciar posteriormente el impacto de las actuaciones en cada una de ellas.
- **Luminaria:** se indicará la cantidad y el tipo de tecnología empleada en cada caso.
- **Horario de uso día y noche:** gracias a los horarios de uso, se podrán estimar los consumos eléctricos actuales de las instalaciones de iluminación.
- **Tecnología de control:** se indicará el control que exista aparte del encendido y apagado por horario.
- **Consumo estimado de cada superficie:** indica el consumo estimado de cada superficie teniendo en cuenta la potencia instalada y sus equipos auxiliares.
- **Coste estimado:** a partir de la potencia instalada de cada tipo de luminaria, las tecnologías de control y los horarios de uso, se podrán estimar los consumos en cada área y totales. Se tomará un valor referencia de 0,15 €/KWh.

Gracias a ellos se podrán realizar estudios y tomar decisiones para las actuaciones a realizar en los siguientes apartados del proyecto.

Para conocer el consumo estimado de las actuales instalaciones de alumbrado, se toman medidas en los cuadros eléctricos de las intensidades que circulan por cada circuito de alumbrado. El ITC-BT-28 apartado 4 d) expone:

*“d) En las instalaciones para alumbrado de locales o dependencias donde se reúna público, el número de líneas secundarias y su disposición en relación con el total de lámparas a alimentar deberá ser tal que el corte de corriente en una cualquiera de ellas no afecte a más de la tercera parte del total de lámparas instaladas en los locales o dependencias que se iluminan alimentadas por dichas líneas. Cada una de estas líneas estarán protegidas en su origen contra sobrecargas, cortocircuitos, y si procede contra contactos indirectos.” [28]*

Por tanto, la instalación de alumbrado se encuentra dividido mínimo en 3 circuitos independientes. Además, este hecho permite una compensación de los consumos de cada fase a la que pertenecen.

Por ejemplo, en abril de 2017 se obtuvieron los siguientes datos tomados en cuadros eléctricos de la planta 2 del edificio Betancourt:

Datos			Teoría	Medidas reales			
Cuadro	Circuito	Nº Pantallas y nº T8 36 W	Potencia total teórica [W]	Tensión [V]	cos $\varphi$	Intensidad [A]	Potencia total real [W]
2.1	Grupo 2AS	5 y 10	360	218	0,9	4,20	824,04
2.1	Grupo 3AS	2 y 4	14	218	0,9	1,80	353,16
2.1	1D	9 y 18	648	218	0,9	7,00	1.373,40
2.1	1E	5 y 10	360	218	0,9	5,00	981,00
2.2	Grupo 6AS	7 y 14	504	218	0,9	5,50	1.079,10
2.2	1I	5 y 10	360	218	0,9	4,90	961,38
2.2	1J	6 y 12	432	218	0,9	5,10	1.000,62
2.2	4G	4 y 8	288	218	0,9	2,20	431,64
2.3	Grupo 4AS	8 y 16	576	218	0,9	5,80	1.137,96
2.3	1H	8 y 16	576	218	0,9	6,60	1.294,92
2.3	1I	6 y 12	432	218	0,9	5,50	1.079,10



La muestra de 130 tubos fluorescentes T8 y sus equipos auxiliares indica unos consumos reales que ascienden a 10.516,32W, lo que supone un consumo unitario mayor a 80W.

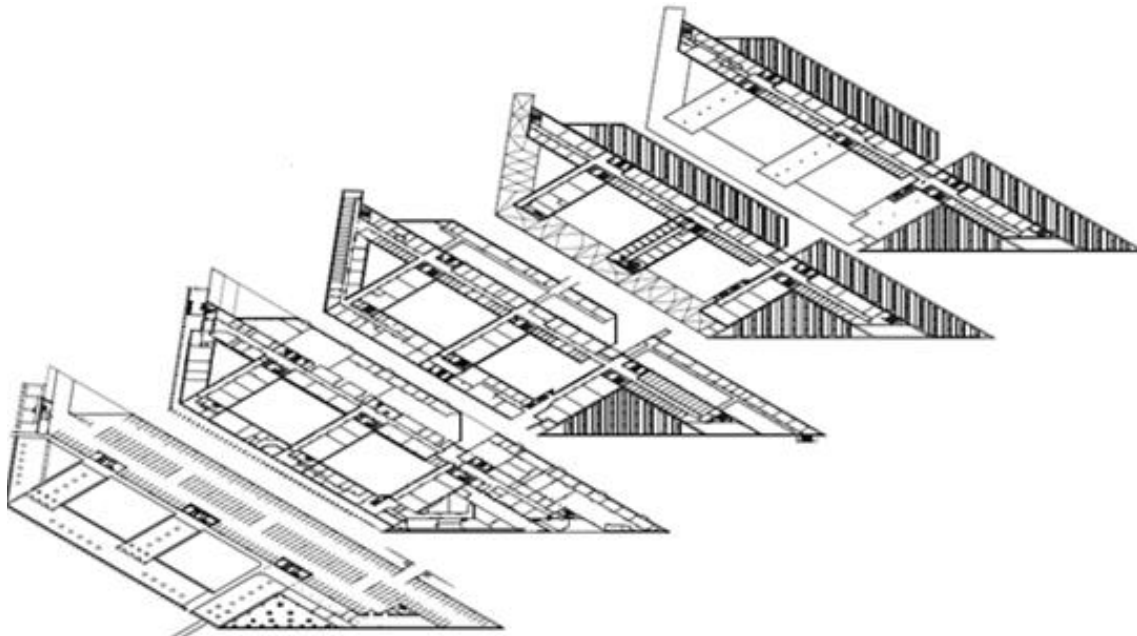
Otras muestras indican consumos reales en torno a los 60 y 80W, por lo que los resultados se extrapolan en los cálculos del proyecto y se toma una referencia media de 70W para este tipo de luminarias y de 80W en el caso de los downlights con fluorescentes compactos de 22W.

## 7.1. Edificio Agustín Betancourt

El edificio Agustín Betancourt es el primer edificio de la EPS. Tiene una planta con forma de trapecio y dos patios interiores cuadrados. La envolvente exterior del edificio está formada por una fachada de ladrillo caravista con aberturas en las que se encuentran las ventanas. En su parte posterior y lateral cuenta con talleres que cuentan con una cubierta con lucernario, que facilitan la captación de la luz natural.



*Figura 7.1. Edificio Betancourt.*<sup>7.1</sup>



*Figura 7.2. Planos planta y distribución espacios edificio Betancourt.*<sup>7.2</sup>

<sup>7.1</sup> Fuente: [google.es/maps/@40.3315915,-3.7654701,230a,35y,38.97t/data=!3m1!1e3](https://www.google.es/maps/@40.3315915,-3.7654701,230a,35y,38.97t/data=!3m1!1e3)

<sup>7.2</sup> Fuente: planos AutoCAD y elaboración propia.

### 7.1.1. Datos generales

El edificio es de uso docente e investigación y guarda las siguientes características:

Zona	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
		Nº	Tipo					
Aulas	1.152	444	T8 36W/865 G13	9	0	-	31,08	41,96
Aulas informática	553,25	213	T8 36W/865 G13	12	0	-	14,91	26,83
Laboratorios	3.973	1.515	T8 36W/865 G13	9	0	-	106,05	143,17
Despachos	4.727,29	1.532	T8 36W/865 G13	9	0	-	107,24	144,77
Administración	576,75	144	T8 36W/865 G13	9	0	-	12,04	16,25
		56	T8 18W/865 G13					
Pasillos	3.576	636	T8 36W/865 G13	12	0	-	46,55	83,79
		34	22W/825 E27					
		48	9W/827/2P 1CT					
Hall ascensores y escaleras	894,08	324	9W/827/2P 1CT	12	3	-	5,67	12,76
Aseos	312	16	T8 36W/865 G13	12	0	-	10,08	18,14
		128	R63 46W E27					
C. limpieza y vestuarios	134,75	17	T8 36W/865 G13	12	0	-	2,24	4,03
		15	R63 46W E27					
Aparcamiento	5.490	170	T8 36W/865 G13	12	12*	Sensores de presencia	11,90	26,78
Soportales	700	64	22W/825 E27	0	12	-	2,24	4,03
Talleres	2.034	74	400W/730 E40	12	0	-	44,40	79,92
<b>Total</b>	<b>24.303,12</b>						<b>394,40</b>	<b>602,44</b>

Tabla 7.1. Datos generales instalaciones iluminación edificio Betancourt. <sup>T 7.1</sup>

\*El aparcamiento debe mantener mínimo un tercio de la iluminación nocturna por seguridad.

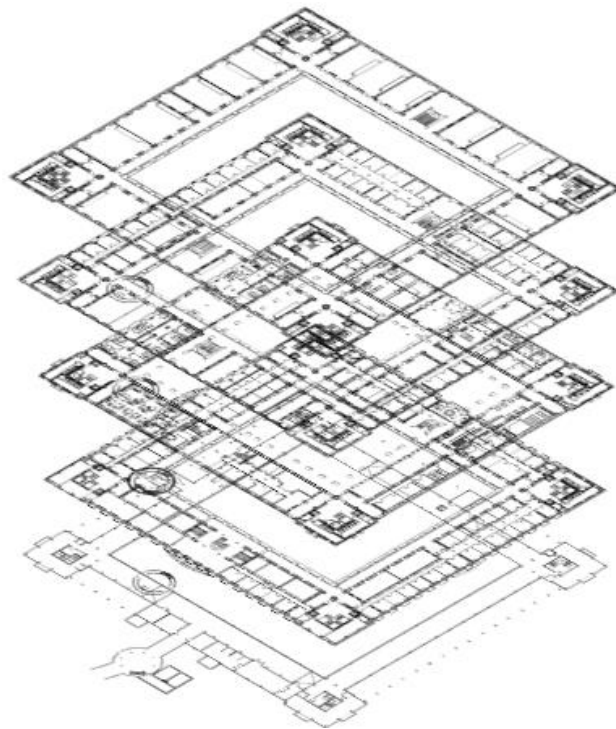
<sup>T 7.1</sup> Fuente: elaboración propia.

## 7.2. Edificio Sabatini

El edificio Sabatini es el segundo edificio de la EPS y el más representativo del campus. Tiene una planta con forma de cuadrado abierto, manteniendo la arquitectura del antiguo Cuartel de las Reales Guardias Walonas de 1783. La envolvente exterior del edificio está formada por una fachada revestida en mortero con aberturas en las que se encuentran las ventanas. En su fachada interior cuenta con grades ventanales en sus arcos, los cuales añaden luz natural a los pasillos, principalmente. Debido a un incendio en 2013 algunas zonas fueron remodeladas y no formarán parte del proyecto.



*Figura 7.3. Edificio Sabatini.*<sup>7.3</sup>



*Figura 7.4. Planos planta y distribución espacios edificio Sabatini.*<sup>7.4</sup>

<sup>7.3</sup> Fuente: [https://farm5.staticflickr.com/4020/4416967978\\_b9b62efb8b.jpg](https://farm5.staticflickr.com/4020/4416967978_b9b62efb8b.jpg)

<sup>7.4</sup> Fuente. *planos* AutoCAD y elaboración propia.

### 7.2.1. Datos generales

El edificio es de uso docente e investigación y guarda las siguientes características:

Zona	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
		Nº	Tipo					
Aulas	2.283,75	858	T8 36W/865 G13	9	0	-	60,90	82,215
		24	T8 18W/865 G13					
Aulas informática	378,5	128	T8 36W/865 G13	12	0	-	8,96	16,13
Laboratorios	363,75	176	T8 36W/865 G13	9	0	-	12,32	16,63
Despachos	2.553,25	748	T8 36W/865 G13	9	0	-	54,32	73,33
		56	T8 18W/865 G13					
Administración	2.047,85	546	T8 36W/865 G13	9	0	-	38,36	51,79
		4	T8 18W/865 G13					
Pasillos	4.351,5	173	T8 36W/865 G13	12	0	-	36,12	65,02
		136	T8 18W/865 G13					
		550	22W/825 E27					
Hall ascensores y escaleras	1.166	144	22W/825 E27	12	3	-	5,04	9,07
Aseos	739,5	448	T8 18W/865 G13	12	0	-	23,94	43,09
		118	R63 46W E27					
Soportales	713,94	120	22W/825 E27	0	12	-	4,20	7,56
<b>Total</b>	<b>14598,04</b>						<b>244,16</b>	<b>367,10</b>

*Tabla 7.2. Datos generales instalaciones iluminación edificio Sabatini.* <sup>T 7.2</sup>

<sup>T 7.2</sup> Fuente: elaboración propia.

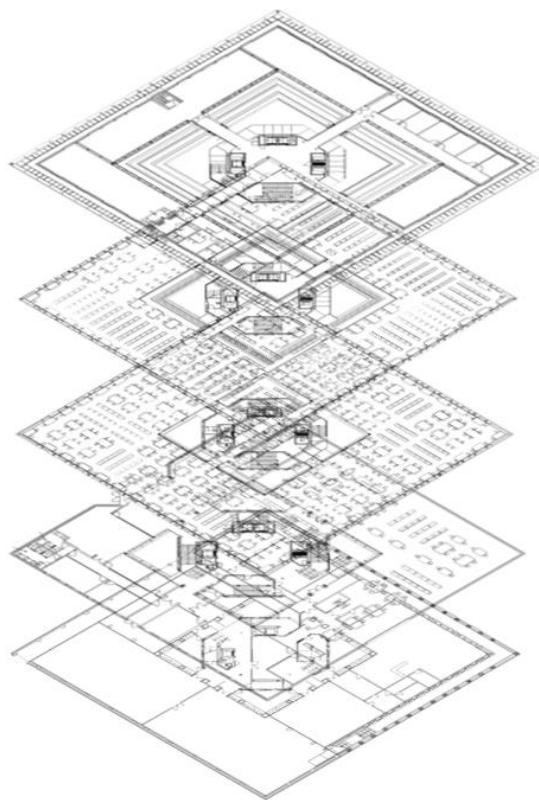


### 7.3. Biblioteca Rey Pastor

El edificio Agustín Betancourt es el primer edificio de la EPS. Tiene una planta con forma de trapecio y dos patios interiores cuadrados. La envolvente exterior del edificio está formada por una fachada de ladrillo caravista con aberturas en las que se encuentran las ventanas. En su parte posterior y lateral cuenta con talleres que cuentan con una cubierta con lucernario, que facilitan la captación de la luz natural.



*Figura 7.5. Planos planta y distribución biblioteca Rey Pastor.*<sup>7.5</sup>



*Figura 7.6. Planos planta y distribución espacios biblioteca Rey Pastor.*<sup>7.6</sup>

<sup>7.5</sup> Fuente: [https://farm7.staticflickr.com/6055/6266263622\\_61bd9904cd.jpg](https://farm7.staticflickr.com/6055/6266263622_61bd9904cd.jpg)

<sup>7.6</sup> Fuente: planos AutoCAD y elaboración propia.

### 7.3.1. Datos generales

El edificio cuenta con salas de lectura, aulas de estudio e informática, así como un aula de docencia e investigación y diferentes espacios administrativos.

Zona	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
		Nº	Tipo					
Salas de lectura	3864,75	972	T8 36W/865 G13	12	0	-	68,355	123,04
		9	T8 18W/865 G13					
Aulas informática	171,5	39	T8 36W/865 G13	9	0	-	2,80	3,78
		2	T8 18W/865 G13					
Laboratorios	242	38	T8 36W/865 G13	9	0	-	2,73	3,69
		2	T8 18W/865 G13					
Administración	636,25	116	T8 36W/865 G13	9	0	-	8,96	12,10
		24	22W/825 E27					
Pasillos	989,6	3	T8 18W/865 G13	12	0	-	13,755	24,76
		26	T8 36W/865 G13					
		338	22W/825 E27					
Hall ascensores y escaleras	193	48	22W/825 E27	12	3	-	1,82	4,10
		2	R63 46W E27					
Aseos	96,5	6	T8 36W/865 G13	12	0	-	1,54	2,77
		16	R63 46W E27					
C. limpieza y vestuarios	27,95	4	T8 36W/865 G13	12	0	-	0,63	1,13
		8	22W/825 E27					
		1	R63 46W E27					
Soportales	450	46	22W/825 E27	0	12	-	1,61	2,90
<b>Total</b>	<b>6643,6</b>						<b>102,2</b>	<b>178,26</b>

Tabla 7.3. Datos generales instalaciones iluminación biblioteca Rey Pastor. <sup>T 7.3</sup>

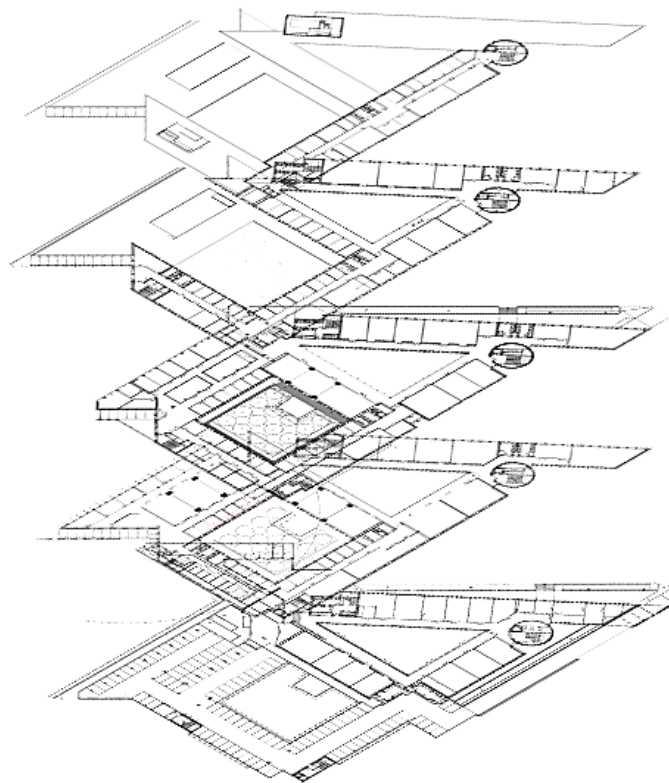
<sup>T 7.3</sup> Fuente: elaboración propia.

## 7.4. Edificio Torres Quevedo

El edificio Torres Quevedo tiene una planta con forma de cuadrado abierto, cilíndrica y un lateral simulando la vista lateral de un transatlántico. Cuenta con dos patios interiores, destacando el triangular por sus lados B y D, ya que cuentan con una fachada totalmente acristalada que permite el paso de la luz solar. La envolvente exterior del edificio está formada por una fachada de ladrillo caravista con aberturas en las que se encuentran las ventanas.



*Figura 7.7. Representación edificio Torres Quevedo.*<sup>7.7</sup>



*Figura 7.8. Planos planta y distribución espacios edificio Torres Quevedo.*<sup>7.8</sup>

<sup>7.7</sup> Fuente: [google.es/maps/@40.3306284,-3.7642339,180a,35y,39.24t/data=!3m1!1e3](https://www.google.es/maps/@40.3306284,-3.7642339,180a,35y,39.24t/data=!3m1!1e3)

<sup>7.8</sup> Fuente: planos AutoCAD y elaboración propia.



### 7.4.1. Datos generales

El edificio es de uso docente e investigación y guarda las siguientes características:

Zona	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
		Nº	Tipo					
Aulas	2062	531	T8 36W/865 G13	9	0	-	37,17	50,18
Aulas informática	440,25	136	T8 36W/865 G13	12	0	-	9,52	17,14
Laboratorios	3208,42	841	T8 36W/865 G13	9	0	-	58,87	79,47
Despachos	2530	600	T8 36W/865 G13	9	0	-	42,00	56,70
Administración	124,5	30	T8 36W/865 G13	9	0	-	2,10	2,84
Pasillos	4278,7	590	T8 36W/865 G13	12	0	-	42,84	72,11
		44	22W/825 E27					
Hall ascensores y escaleras	636,5	158	22W/825 E27	12	3	-	5,53	12,44
Aseos	529,75	29	T8 36W/865 G13	12	0	Sensor de presencia inutilizado	13,86	24,95
		156	22W/825 E27					
		91	R63 46W E27					
C. limpieza y vestuarios	99,25	8	T8 36W/865 G13	12	0	-	2,59	4,66
		29	R63 46W E27					
Aparcamiento	2387,25	42	T8 36W/865 G13	12	12*	Sensores de presencia	2,94	6,62
Soportales	450	38	22W/825 E27	0	12	-	1,33	2,39
<b>Total</b>	<b>16746,62</b>						<b>218,75</b>	<b>334,50</b>

**Tabla 7.4. Datos generales instalaciones iluminación edificio Torres Quevedo.**<sup>T 7.4</sup>

\* El aparcamiento debe mantener mínimo un tercio de la iluminación nocturna por seguridad.

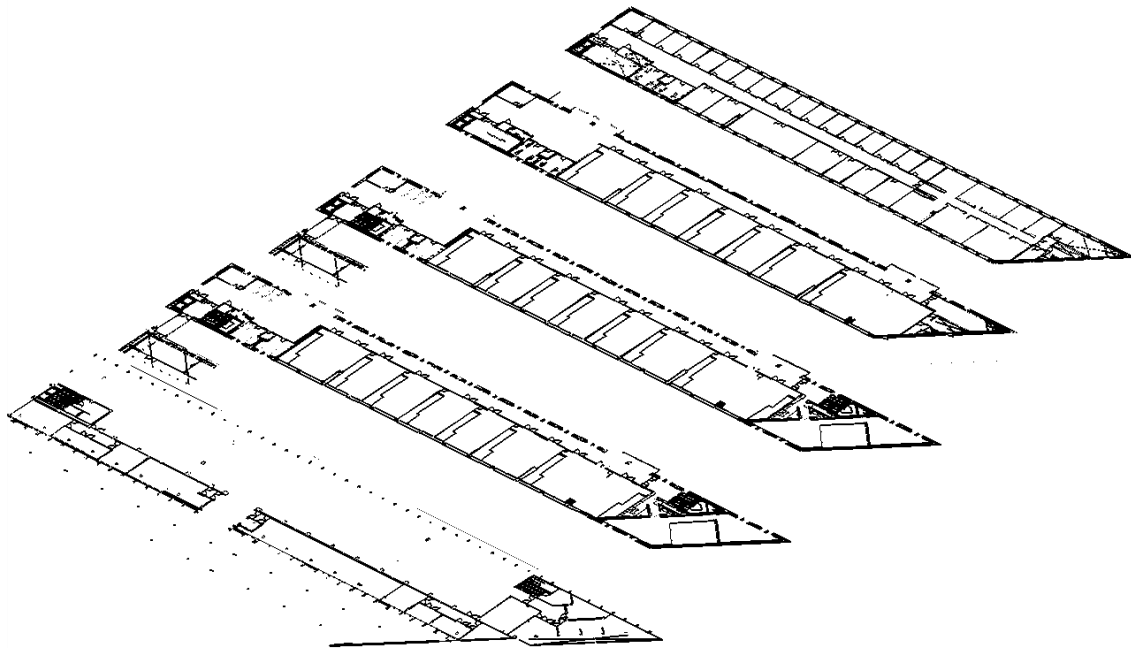
<sup>T 7.4</sup> Fuente: elaboración propia.

## 7.5. Edificios Juan Benet I y II

Los edificios Juan Benet I y II son la última fase construida en la EPS. Su envolvente exterior está formada por una fachada de ladrillo caravista con aberturas en las que se encuentran ventanas, de diferentes medidas que hacen aprovechar más la luz en la fase II.



*Figura 7.9. Edificios Juan Benet I y II.*<sup>7.9</sup>



*Figura 7.10. Planos planta y distribución espacios edificio Juan Benet I.*<sup>7.10</sup>

<sup>7.9</sup> Fuente: [google.es/maps/@40.3357214,-3.7656119,221a,35y,180h,39.21t/data=!3m1!1e3](https://www.google.es/maps/@40.3357214,-3.7656119,221a,35y,180h,39.21t/data=!3m1!1e3)

<sup>7.10</sup> Fuente: planos AutoCAD y elaboración propia.

### 7.5.1. Datos generales

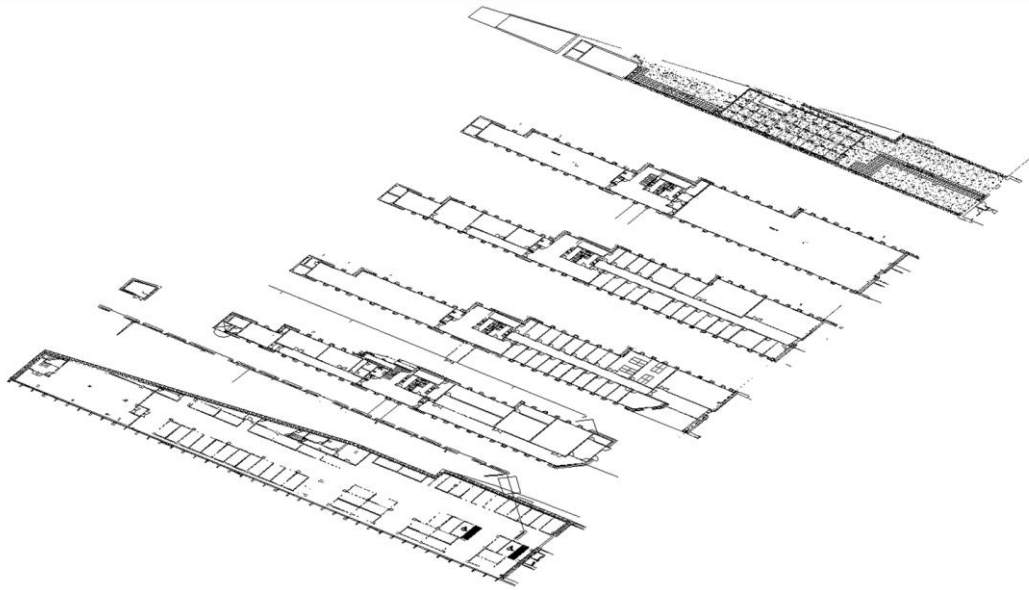
El edificio es de uso docente e investigación y guarda las siguientes características:

Zona	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
		Nº	Tipo					
Aulas	1629	604	T8 36W/865 G13	9	0	-	42,28	57,08
Aulas informática	394,7	136	T8 36W/865 G13	12	0	-	9,52	17,14
Laboratorios	200	60	T8 36W/865 G13	9	0	-	4,20	5,67
Despachos	814,08	328	T8 36W/865 G13	9	0	-	22,96	31,00
Administración	15,5	8	T8 36W/865 G13	9	0	-	0,56	0,76
Pasillos	1396,23	420	22W/825 E27	12	0	-	14,70	26,46
Hall ascensores y escaleras	353,55	24	22W/825 E27	12	3	-	1,44	3,24
		30	16W/835/4P 1CT					
Aseos	164,9	8	T8 36W/865 G13	12	0	Sensor de presencia, normalmente inutilizado	5,04	9,07
		128	22W/825 E27					
Aparcamiento	1.220,78	116	T8 36W/865 G13	12	12*	Sensores de presencia	8,12	18,27
<b>Total</b>	<b>6188,74</b>						<b>108,82</b>	<b>168,68</b>

Tabla 7.5. Datos generales instalaciones iluminación edificio Juan Benet I. <sup>T 7.5</sup>

\* El aparcamiento debe mantener mínimo un tercio de la iluminación nocturna por seguridad.

<sup>T 7.5</sup> Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.11. Planos planta y distribución espacios edificio Juan Benet II.** <sup>7.10</sup>

### 7.5.2. Datos generales

El edificio es de uso docente e investigación y guarda las siguientes características:

Zona	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
		Nº	Tipo					
Aulas	282,01	18	T8 36W/865 G13	9	0	-	11,90	16,07
		304	T8 18W/865 G13			-		
Laboratorios	641,74	24	T8 36W/865 G13	9	0	-	16,60	22,41
		428	T8 18W/865 G13			-		
Despachos	417,78	548	T8 18W/865 G13	9	0	-	19,18	25,89
Pasillos	561,26	208	13W/840 E27	12	0	-	4,16	7,49
Escaleras	57,07	16	22W/840 E27	12	3	-	0,56	1,26
Aseos	86,31	6	T8 36W/865 G13	12	0	Sensor de presencia	2,28	4,10
		30	13W/840 E27					
		18	R63 46W E27					
Aparcamiento	1.251,58	90	T8 36W/865 G13	12	12*	Sensores de presencia	6,30	14,18
<b>Total</b>	<b>3.297,75</b>						<b>61,04</b>	<b>91,40</b>

**Tabla 7.6. Datos generales instalaciones iluminación edificio Juan Benet II.** <sup>T 7.6</sup>

<sup>7.10</sup> Fuente: planos AutoCAD y elaboración propia.

\* El aparcamiento debe mantener mínimo un tercio de la iluminación nocturna por seguridad.

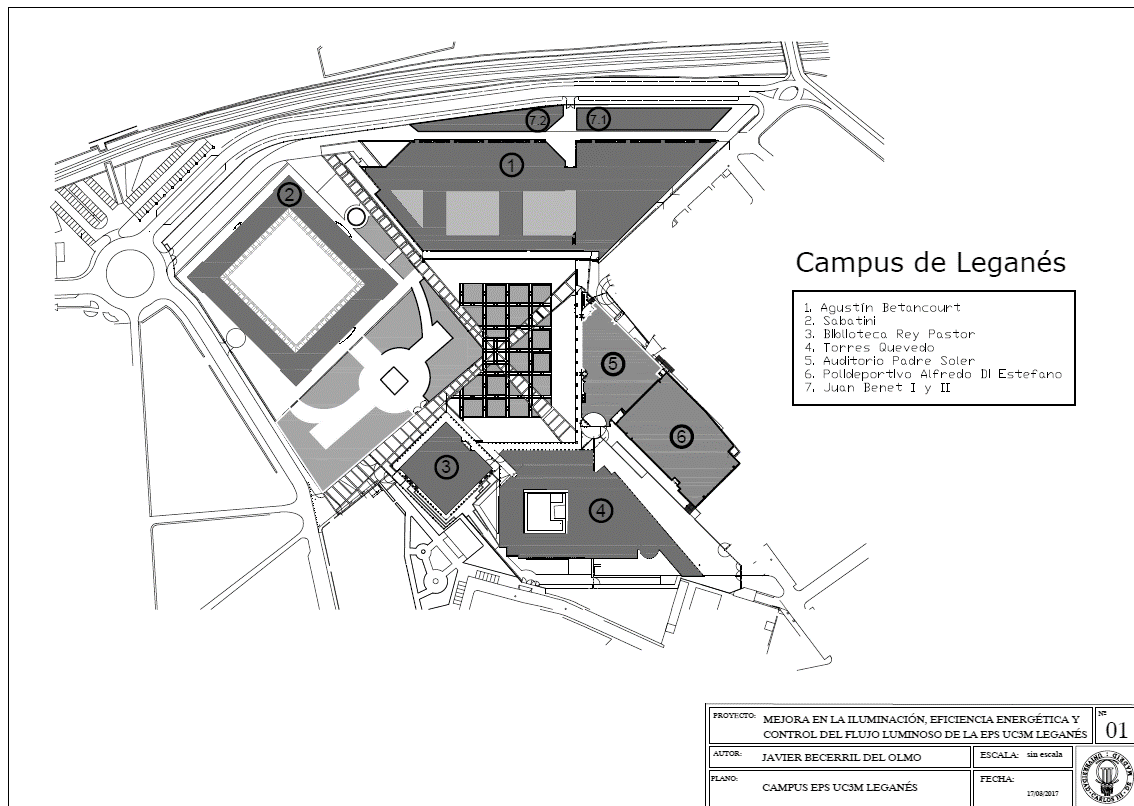
<sup>T 7.6</sup> Fuente: elaboración propia.

## 7.6. Alumbrado exterior

El alumbrado exterior del campus se compone de farolas en los accesos peatonales y de vehículos, parques y calle. También hay farolas entre los edificios Betancourt y Juan Benet I y II, así como apliques en los alrededores de algunos edificios.



**Figura 7.12. Representación campus EPS.**<sup>7.12</sup>



**Figura 7.13. Distribución espacios exteriores campus EPS.**<sup>7.13</sup>

<sup>7.12</sup> Fuente: [google.es/maps/@40.3292156,-3.7654955,35y,39.16t/data=!3m1!1e3](https://www.google.es/maps/@40.3292156,-3.7654955,35y,39.16t/data=!3m1!1e3)

<sup>7.13</sup> Fuente: planos AutoCAD y elaboración propia.

### 7.6.1. Datos generales

El centro del campus es presidido por un extenso parque y calle peatonal. El edificio Sabatini cuenta con un parque propio y en las esquinas suroeste y sudeste del campus se encuentran los accesos para vehículos y peatones a los edificios Betancourt y Torres Quevedo.

Zona	Luminaria		Horario uso día y noche [h]		Tecnología control	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€/día]
	Nº	Tipo					
Parque edificio Sabatini	24	150W/828 E40	0	12	Fotocélula común	7,20	12,96
Perímetro edificio Sabatini	56	22W/825 E27	0	12	Fotocélula común	1,96	3,53
Calle peatonal y parque central	49	150W/828 E40	0	12	Fotocélula común	14,70	26,46
Acceso aparcamiento edificio Torres Quevedo y Auditorio	26	150W/828 E40	0	12	Fotocélula común	7,80	14,04
Perímetro edificios Betancourt y Juan Benet I y II	10	150W/828 E40	0	12	Fotocélula común	4,40	7,92
	40	22W/825 E27					
Total						36,06	64,91

*Tabla 7.7. Datos generales instalaciones alumbrado exterior del campus.* <sup>T 7.7</sup>

<sup>T 7.7</sup> Fuente: elaboración propia.



### 7.7. Mediciones nivel de iluminación

Empleando un luxómetro se pueden comprobar numerosas deficiencias en las actuales instalaciones de iluminación del campus como es la baja uniformidad media. La ausencia de regulación del flujo luminoso muestra el derroche energético actual y la ubicación de algunas farolas también debería ser revisada.



*Figura 7.14. Imágenes de algunas deficiencias actuales.* <sup>7.14</sup>

<sup>7.14</sup> Fuente: elaboración propia.

## Capítulo 8

### Propuestas de actuación

Una vez conocida la situación actual de las instalaciones, comienza la búsqueda de nuevas tecnologías en catálogos de diferentes fabricantes. Se realizan simulaciones y se piden presupuestos a diferentes empresas y distribuidoras del sector para poder realizar el proyecto técnico y su presupuesto.

#### 8.1. Sustitución a tecnologías actuales

Los siguientes apartados indicarán los modelos que utilizan actualmente las instalaciones y se propondrá un modelo en sustitución, realizando una descripción y comparativa de cada una de ellas.

La elección de la nueva luminaria depende de sus características luminotécnicas y no solo de su coste económico. El factor más importante a la hora de seleccionarlas ha sido su vida útil, factor que ya se explicó en el capítulo 4.3 y que, debido a la prolongada vida útil del LED, se expresa en diferentes vidas útiles medias.

La baja depreciación del flujo tiene importancia en el factor de mantenimiento de la luminaria. Al realizar las simulaciones se comprobará que son necesarias menos luminarias para cumplir todos los requisitos de la normativa vigente.



El 13 de abril de 2010 entra en vigor la primera etapa de la directiva ERP (Energy Related Products)<sup>32</sup> establecida por la Comisión Europea (CE 245/2009) para favorecer el eco-diseño de productos y disminuir consumos energéticos. Dicha medida tiene alcance en lámparas (alta intensidad, fluorescentes lineales y compactos), balastos, luminarias y controles, con el objetivo de mejorar la eficacia y vida útil, así como reducir el contenido en Hg de las lámparas, entre otros. [29]

Desde septiembre de 2012 la Unión Europea prohibió comercializar bombillas incandescentes y *“en septiembre de 2018 entrará en vigor la prohibición de comercializar casi toda la iluminación halógena.”* [30]

A partir de abril de 2015 se prohibió la comercialización de lámparas de vapor de mercurio y mezcla. *“Las únicas fuentes de luz blanca aptas serán descarga fluorescencia, descarga inductiva, halogenuros metálicos y LED.”* [31]

Desde el pasado 1 de septiembre de 2016 *“entró en vigor la prohibición europea de comercializar focos halógenos para iluminación (Reglamentos UE 244/2009 y 1194/2012 sobre lámparas).”* [32]

Desde el 12 de abril del 2017 se trabaja en la tercera etapa de la directiva ERP, pudiéndose fabricar solo productos que cumplan los requisitos de eficiencia energética de esta nueva etapa del Reglamento CE 245/2009. [33]

Con estas medidas, ecológicas y eficientes, la Unión Europea favorece la reducción de consumos energéticos para alcanzar el objetivo del 20% de descenso para el año 2020.

---

<sup>32</sup> Productos Relacionados con la Energía

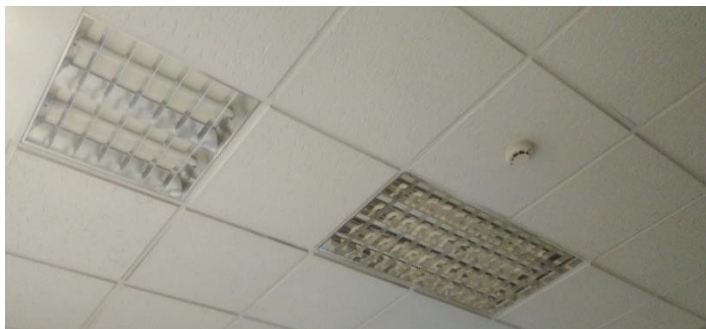
## 8.1. Sustitución de pantallas

### 8.1.1. Pantallas fluorescentes

Las pantallas fluorescentes se encuentran en prácticamente todas las áreas interiores del campus: pasillos, aulas, laboratorios, aulas de informática, despachos, etc.

Existen pantallas con las siguientes características:

- 120x60 cm con 2,3 y 4 tubos fluorescentes T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865
- 60x60 cm con 2 y 4 tubos fluorescentes T8 Philips Master TL-D Super 80 18W/865



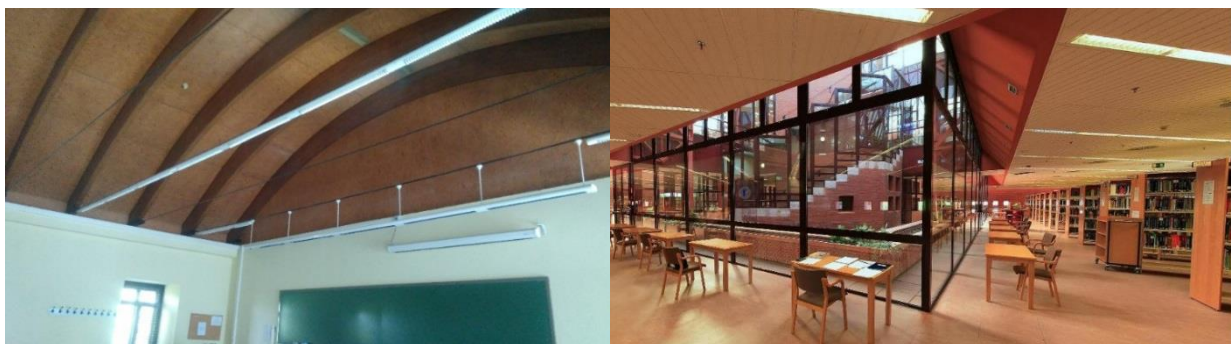
*Figura 8.1. Pantallas 60x60 cm y 120x60 cm con tubos fluorescentes T8 2x18W y 4x36W.* <sup>8.1</sup>

También existen pantallas lineales empotradas:

- 120x30 cm con 1 tubo fluorescente T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865
- 60x30 cm con 1 tubo fluorescente T8 Philips Master TL-D Super 80 18W/865

La tercera planta del edificio Sabatini tiene pantallas lineales suspendidas:

- 120x10 cm con 2 tubos fluorescentes T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865
- 60x10 cm con 2 tubos fluorescentes T8 Philips Master TL-D Super 80 18W/865



*Figura 8.2. Pantallas lineales suspendidas en aula 2.3.B.02 y empotradas en falso techo biblioteca.* <sup>8.2</sup>

<sup>8.1</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>8.2</sup> Fuente: elaboración propia.

Para las pizarras hay pantallas suspendidas:

- 120x20 cm con 2 tubos fluorescentes T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865



**Figura 8.3. Regletas fluorescente suspendidas para pizarra en aula 2.3.B.02.** <sup>8.3</sup>

En los aparcamientos hay pantallas estancas:

- 120x20 cm con 1 o 2 tubos fluorescentes T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865



**Figura 8.4. Regletas fluorescente suspendidas para pizarra en aula 2.3.B.02.** <sup>8.4</sup>

Flujo radiante [W]	Flujo luminoso [lm]	Tª color [K]	Vida media [h]	IRC	Eficacia luminosa [%]	Contenido Hg [mg]
36	3250	6500	15000	85	84	2
18	1300	6500	15000	85	84	2

**Tabla 8.1. Características T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865.** <sup>T 8.1</sup>

<sup>8.3</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>8.4</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 8.1</sup> Fuente: catálogo luminarias interior Philips: T8 Master TL-D Super 80 36W/865  
T8 Master TL-D Super 80 18W/865

Cada pantalla esconde en su interior un balasto ferromagnético y un cebador para cada tubo fluorescente.



**Figura 8.5. Balasto ferromagnético y cebador.**<sup>8.5</sup>



Posteriormente se explicará el método realizado para comprobar los consumos de las instalaciones de iluminación del campus. Se comprobará que existe un consumo elevado, debido a estos equipos auxiliares, con un bajo factor de potencia y que prácticamente consumen lo mismo que la propia luminaria. Mientras que un tubo T8 de 1.200 mm tiene una potencia de 36W, su consumo junto al cebador y balasto tiene un valor medio de 70W/h.

<sup>8.5</sup> Fuente: elaboración propia.

### 8.1.2. Pantallas LED

Las pantallas fluorescentes de 120x60 cm y 60x60 cm serán sustituidas por pantallas LED de 120x60 cm y 60x60 cm, lo cual permitirá una mejor distribución de las luminarias y solo supondrá un mínimo sobrecoste para cambiar el tamaño de algún panel de falso techo. En el caso de las pantallas lineales, se seguirán respetando sus 120x30 cm.



Para despachos, los modelos propuestos son de la marca ETAP:

	U23I2/LEDN35		U25M2/LEDN50		 
Medidas	60x60 cm		60x60 cm		
Regulable	Sí	D (Sin sensor) <sup>33</sup>	Sí	D (Sin sensor)	
		DE (Con sensor) <sup>34</sup>		DE (Con sensor)	
Vida útil	50.000 h		50.000 h		
FM	0,80		0,88		
UGR	<19		<19		
Potencia	34 W		38 W		
Flujo luminoso	3.399 lm		5.247 lm		
Eficacia	100 lm/W		138 lm/W		
Tª color	4.000 K		4.000 K		
IRC	>80		>80		

**Tabla 8.2. Características pantallas LED ETAP U23I2/LEDN35 y U25M2/LEDN50.** <sup>T 8.2</sup>

En el caso de los pasillos, la normativa vigente permite un UGR hasta 25, lo cual permite elegir modelos con UGR<22 . Para aulas, laboratorios, salas de informática y lectura, los modelos propuestos son también de la marca ETAP:

	U23F1/LEDN35		U25M1/LEDN50	
Medidas	120x30 cm		120x30 cm	
Regulable	Sí	D (Sin sensor)	Sí	D (Sin sensor)
		DE (Con sensor)		DE (Con sensor)
Vida útil	50.000 h		50.000 h	
FM	0,80		0,88	
UGR	<22		<19	
Potencia	34 W		40 W	
Flujo luminoso	3.300 lm		5.197 lm	
Eficacia	97 lm/W		131 lm/W	
Tª color	4.000 K		4.000 K	
IRC	>80		>80	



**Tabla 8.3. Características pantallas LED ETAP U23F1/LEDN35 y U25M1/LEDN50.** <sup>T 8.3</sup>

<sup>33</sup> Modelo regulable para posible centralización en el futuro.

<sup>34</sup> El sensor regula la intensidad del flujo luminoso.

<sup>T 8.2</sup> Fuente: catálogo luminarias interior ETAP: U23I2/LEDN35

U25M2/LEDN50

<sup>T 8.3</sup> Fuente: catálogo luminarias interior ETAP: U23F1/LEDN35

U25M1/LEDN50

En el caso de la iluminación de todas las pizarras y las aulas del edificio Sabatini y naves del edificio Betancourt, se seleccionan pantallas suspendidas LED + LENS de la marca ETAP, en el caso de la pizarra, direccional:

	<b>R751R1/3635SX1</b>	<b>R736R1/LEDN3645SX1</b>	
<b>Medidas</b>	120x30 cm	120x30 cm	
<b>Regulable</b>	No	Sí	D (Sin sensor) DE (Con sensor)
<b>Vida útil</b>	50.000 h	50.000 h	
<b>FM</b>	0,88	0,88	
<b>UGR</b>	<19	<19	
<b>Potencia</b>	26 W	36 W	
<b>Flujo luminoso</b>	3.500 lm	4.699 lm	
<b>Eficacia</b>	135 lm/W	133 lm/W	
<b>Tª color</b>	4.000 K	4.000 K	
<b>IRC</b>	>80	>80	

**Tabla 8.4. Características pantallas LED R736R1/LEDN3645SX1 y R751R1/3635SX1.** <sup>T 8.4</sup>

En los aparcamientos las pantallas serán estancas, al tratarse de zonas húmedas. El modelo seleccionado pertenece a la familia Araxeon de la marca TRILUX:

	<b>1500 XB 4000-840 T</b>	
<b>Medidas</b>	150x30 cm	
<b>Regulable</b>	Sí (Sin sensor)	
<b>Vida útil</b>	50.000 h	
<b>FM</b>	0,71	
<b>UGR</b>	<23	
<b>Potencia</b>	26 W	
<b>Flujo luminoso</b>	3.800 lm	
<b>Eficacia</b>	146 lm/W	
<b>Tª color</b>	4.000 K	
<b>IRC</b>	>80	
<b>IP</b>	66	

**Tabla 8.5. Características pantallas LED TRILUX Araxeon 1500 XB 400-840T.** <sup>T 8.5</sup>

<sup>T 8.4</sup> Fuente: catálogo luminarias interior ETAP: R751R1/3635SX1

<sup>T 8.5</sup> Fuente: catálogo luminarias lugares húmedos TRILUX: Araxeon 1500 XB 4000-840 T



## 8.2. Sustitución de downlights y fluorescentes compactos

### 8.2.1. Fluorescentes compactos 22W, 13W, 9W y 16W



**Figura 8.6. Downlights y fluorescentes compactos soportales, pasillos interiores o escaleras.** <sup>8.6</sup>

Los fluorescentes en downlights son usados en zonas comunes, pasillos interiores, soportales, en hall de ascensores y escaleras. Se encuentran los siguientes modelos:

- 20 cm Ø y 2 halógenos Osram Dulux intelligent longlife DINT LL 22W/825 E27
- 20 cm Ø y 2 halógenos Philips MASTER PL-C 13W/840/2P 1CT
- 20 cm Ø y 4 halógenos Philips Master PL-S 2P 9W/840/2P 1CT
- Fluorescentes compacto Philips PL-Q 16W/830/4P 1CT

Se puede aproximar el consumo real de cada conjunto a 60W, 40W, 60W y 20W.

Flujo radiante [W]	Flujo luminoso [lm]	Tª color [K]	Vida media [h]	IRC	Eficacia luminosa [%]	Contenido Hg [mg]
22	1.440	2.500	20.000	≥80	-	1,3
13	925	4.000	10.000	82	69	1,4
9	600	4.000	10.000	82	67	1,4
16	1050	3.000	13.000	82	66,6	4

**Tabla 8.6. Características fluorescentes compactos 22W, 13W, 9W y 16W.** <sup>T 8.2</sup>

<sup>8.6</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 8.2</sup> Fuente: catálogo luminarias interior OSRAM: DINT LL 22W/825 E27


catálogo luminarias interior Philips: G24D-1 MASTER PL-C 13W/840/2P 1CT

G23 MASTER PL-S 9W/840/2P 1CT

PL-Q 16W/830/4P 1CT

### 8.2.2. Downlights LED

Los actuales downlights serán reemplazados por el modelo Inplana C07 OTA25 2000-840 ETDD 01 de la marca TRILUX:

	<b>Inplana C07 OTA25 2000-840 ETDD 01</b>	
<b>Medidas</b>	21 cm Ø	
<b>Regulable</b>	Sí (Sin sensor)	
<b>Vida útil</b>	L85 50.000 h	
<b>FM</b>	0,76	
<b>UGR</b>	< 25	
<b>Potencia</b>	15 W	
<b>Flujo luminoso</b>	2.000 lm	
<b>Eficacia</b>	133 lm/W	
<b>Tª color</b>	4.000 K	
<b>IRC</b>	> 80	
<b>IP</b>	54	

**Tabla 8.7. Características downlights LED Inplana C07 OTA25 2000-840 ETDD 01.** <sup>T 8.7</sup>

<sup>T 8.7</sup> Fuente: catálogo luminarias interior TRILUX: Inplana C07 OTA25 2000-840 ETDD 01



### 8.3. Sustitución de halógenos

#### 8.3.1. Halógenos 46W y 400W



*Figura 8.7. Halógenos Osram eco pro classic R63 48W en aseos.*<sup>8.7</sup>



*Figura 8.8. Halógenos HQI-E 400W/D PRO en talleres.*<sup>8.8</sup>

Se encuentran lámparas halógenas en algunos aseos y en los talleres de las naves norte y sur del Edificio Betancourt:

Existen pantallas con las siguientes características:

- Halógeno eco pro classic R63 48W de la marca OSRAM
- Halógeno HQI-E 400W/D PRO E40 de la marca OSRAM

Además, el halógeno de 400W requiere de un condensador PFC de 45  $\mu$ F, por lo que el consumo del conjunto se estima en 480W.

Flujo radiante [W]	Flujo luminoso [lm]	Tª color [K]	Vida media [h]	IRC	Eficacia luminosa	Contenido Hg [mg]
48	2.700	2.700	2000	100	-	0
400	34.000	5.200	16.000	92	81 lm/W	64

*Tabla 8.8. Características halógenos 46W y 400W.*<sup>T 8.8</sup>


<sup>8.7</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>8.8</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 8.8</sup> Fuente: catálogo luminarias interior OSRAM: Eco pro classic R63 48W  
HQI-E 400W/D PRO

### 8.3.2. Proyector LED

Los halógenos de 46W serán reemplazados por downlights. Sin embargo, los halógenos de 400W serán sustituidos por proyectores LED de la marca RZB:

	Industrial Hall Midi 133W	
<b>Medidas</b>	570x483 mm	
<b>Regulable</b>	Sí (Con sensor)	
<b>Vida útil</b>	L70B10 (50.000h)	
<b>FM</b>	0,61	
<b>UGR</b>	<22	
<b>Potencia</b>	133 W	
<b>Flujo luminoso</b>	14.800 lm	
<b>Eficacia</b>	111,3 lm/W	
<b>Tª color</b>	4000 K	
<b>IRC</b>	80	
<b>IP</b>	65	
<b>IK</b>	07	

*Tabla 8.9. Características proyector LED RZB Industrial Hall Midi 133W. <sup>T 8.9</sup>*

<sup>T 8.9</sup> Fuente: catálogo luminarias industriales RZB: Industrial Hall Midi 133W

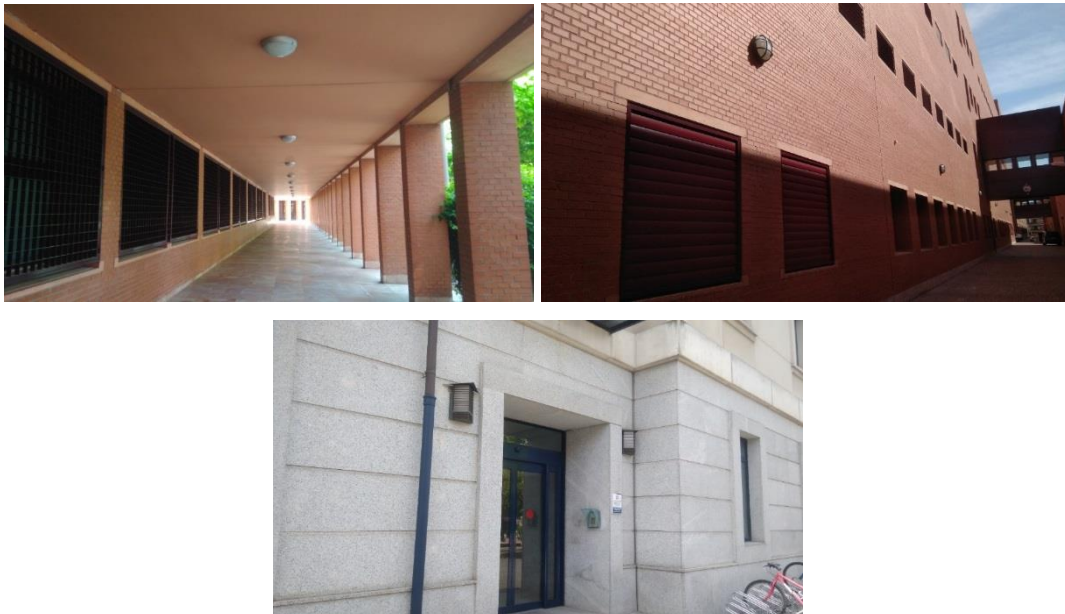
## 8.4. Sustitución de plafones de interior y exterior

### 8.4.1. Plafones de pared y techo interiores y exteriores

Los plafones exteriores deben soportar las inclemencias del tiempo, por lo que cuentan con una cobertura estanca.



*Figura 8.9. Plafones de pared y techo interiores.*<sup>8.9</sup>



*Figura 8.10. Plafones de pared y techo exteriores.*<sup>8.10</sup>

Los actuales plafones cuentan con 2 lámparas fluorescentes compactas de 22W anteriormente nombradas.

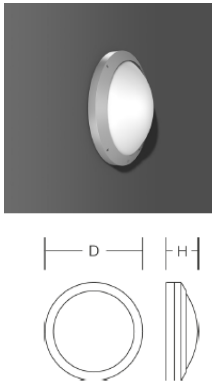
---

<sup>8.9</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>8.10</sup> Fuente: elaboración propia.


### 8.4.2. Plafones de pared y techo exteriores LED

Los plafones interiores pasarán a ser reemplazados por downlights y los exteriores serán sustituidos por plafones de pared y techo de la marca RZB:

	581625.004 Serie rounded	
<b>Medidas</b>	D400 H130 mm	
<b>Regulable</b>	Sí (Sin sensor)	
<b>Vida útil</b>	L80B50 (50.000h)	
<b>FM</b>	0,71	
<b>UGR</b>	< 22	
<b>Potencia</b>	26 W	
<b>Flujo luminoso</b>	1.300 lm	
<b>Eficacia</b>	50 lm/W	
<b>Tª color</b>	4000 K	
<b>IRC</b>	80	
<b>IP</b>	55	
<b>IK</b>	-	

**Tabla 8.10. Características plafones LED RZB 581625.004 Serie: Rounded.** <sup>T 8.10</sup>

En el edificio Sabatini se sustituirán los apliques actuales por unos apliques ornamentales LED de luz directa e indirecta de la marca LAMP:

	NIC 105 DIR/INDIR 1200 WW MFL GR	
<b>Medidas</b>	159x280 mm	
<b>Regulable</b>	No	
<b>Vida útil</b>	L80 (50.000h)	
<b>FM</b>	0,71	
<b>UGR</b>	-	
<b>Potencia</b>	16,8 W	
<b>Flujo luminoso</b>	883 lm	
<b>Eficacia</b>	52,6 lm/W	
<b>Tª color</b>	3000 K	
<b>IRC</b>	80	
<b>IP</b>	65	
<b>IK</b>	09	

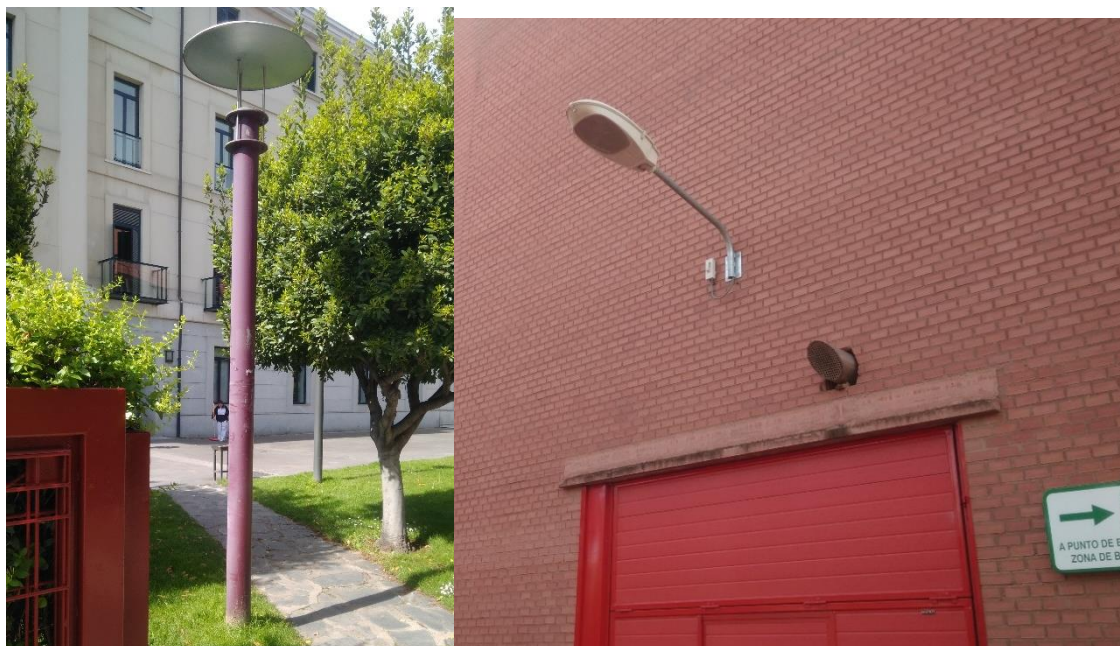
**Tabla 8.11. Características plafones LED LAMP NIC 105 DIR/INDIR 1200 WW MFL GR.** <sup>T 8.11</sup>

<sup>T 8.10</sup> Fuente: catálogo iluminación exterior RZB: 581625.004 Serie: Round

<sup>T 8.11</sup> Fuente: catálogo iluminación exterior LAMP: NIC 105 DIR/INDIR 1200 WW MFL GR

## 8.5. Sustitución de alumbrado exterior

### 8.5.1. Farolas halógenas



**Figura 8.11. Farola de columna o poste y en pared.** <sup>8.11</sup>

Las farolas cuentan con 1 halógeno MASTER CityWhite CDO-TT Plus 150W/828 E40:

Flujo radiante [W]	Flujo luminoso [lm]	T <sup>a</sup> color [K]	Vida media [h]	IRC	Eficacia luminosa	Contenido Hg [mg]
150	16.500	2.800	27.000	87	110	15,8

**Tabla 8.12. Características halógenos MASTER CityWhite CDO-TT Plus 150W/828 E40.** <sup>T 8.12</sup>

Además, el halógeno de 150W requiere de una reactancia y condensador PFC de 25  $\mu$ F, por lo que el consumo del conjunto se estima en 200W.

Las actuales farolas de columna tienen un sistema de iluminación indirecta muy deficiente debido a la gran suciedad que se adhiere a la superficie del difusor.

<sup>8.11</sup> Fuente: *elaboración propia*.

<sup>T 8.12</sup> Fuente: *catálogo luminarias interior PHILIPS: MASTER CityWhite CDO-TT Plus 150W/828 E40*



### 8.5.2. Farolas LED

En las actuales farolas de columna se mantendrá el poste y solo se añadirá una nueva luminaria en la parte superior modelo LED Stela+ gen2 round o Stela long de la marca PHILIPS. Por tanto, será necesaria una obra o adecuación para incorporarlas.


	Stela+ gen2 round	Stela+ long	
Medidas	60 cm Ø	590 x 220 mm	
Regulable	Sí (Sin sensor)	Sí (Sin sensor)	
Vida útil	L80B10 (100.000h)	L80B10 (100.000h)	
FM	0,71	0,71	
UGR	-	-	
Potencia	55 W	37 W	
Flujo luminoso	6.141 lm	3.800 lm	
Eficacia	111,65 lm/W	102,7 lm/W	
Tª color	4000 K	3800 K	
IRC	>70	>80	
IP	66	66	
IK	10	10	

Tabla 8.13. Características farola LED PHILIPS Stela+ gen2 round 55W y Stela long 37W. <sup>T 8.13</sup>

Aparte del tratamiento especial en su poste, las farolas serán pintadas con oxirón, manteniendo la estética de las farolas en conjunto y evitando que puedan pegarse objetos en los actuales postes.

Las farolas de pared serán sustituidas por el siguiente modelo de la marca LAMP:

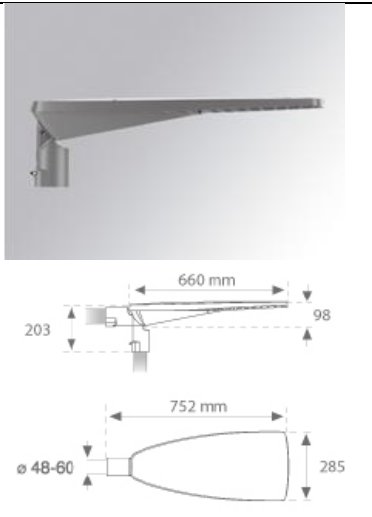
	OWL CL.I 3300 NW GR.	
Medidas	752x285 mm	
Regulable	Sí (Sin sensor)	
Vida útil	L90B10 (50.000h)	
FM	-	
UGR	-	
Potencia	37 W	
Flujo luminoso	3.871 lm	
Eficacia	104,6 lm/W	
Tª color	4.000 K	
IRC	70	
IP	66	
IK	10	

Tabla 8.14. Características farola LED LAMP OWL CL.I 3300 NW GR.. <sup>T 8.14</sup>

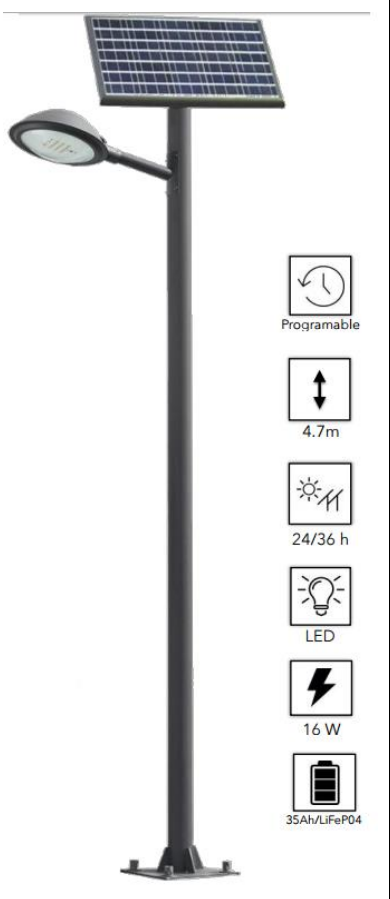
<sup>T 8.13</sup> Fuente: catálogo alumbrado exterior PHILIPS: stela+ gen2 round 55W y Stela long 37W

<sup>T 8.14</sup> Fuente: catálogo alumbrado exterior LAMP: OWL CL.I 3300 NW GR.

Además, se incorporarán farolas LED fotovoltaicas y autosuficientes. Estos puntos de luz autónomos están formados por cuatro partes:

- **Módulo fotovoltaico**
- **Batería**
- **Regulador de carga**
- **Luminaria**

El modelo escogido de farola fotovoltaica es el Solar COVIMED 517 ECOLOGY con una capacidad de reserva de hasta 36 horas con una iluminación de 12W a 4,00 metros de altura. Su batería tiene una vida de 6-7 años y junto a su precio, hace a este modelo muy atractivo para participar en el proyecto.

	COVIMED 517 ECOLOGY	
<b>Vida útil</b>	50.000h	
<b>FM</b>	-	
<b>UGR</b>	-	
<b>Potencia</b>	16 W	
<b>Flujo luminoso</b>	1.760 lm	
<b>Eficacia</b>	110 lm/W	
<b>Tª color</b>	5.500 K	
<b>IRC</b>	-	
<b>IP</b>	65	
<b>IK</b>	09	
<b>IP electrónica</b>	68	
<b>Panel solar</b>	65Wp	
<b>Batería</b>	65 Ah/AGM - LiFePO4	
<b>Reserva</b>	24-36h	
<b>Durabilidad</b>	6-7 años	
<b>Regulación flujo</b>	Sí (Con sensor)	
<b>Regulación horaria</b>	Sí	
<b>Extras</b>	Cámara/Alarma/Detector presencia/Puerto USB	

*Tabla 8.15. Características farola Solar COVIMED 517 ECOLOGY.* <sup>T 8.15</sup>

<sup>T 8.15</sup> Fuente: <http://www.covimed.net/catalogo/farolas-solares-urbanas-y-residenciales/farola-solar-covimed-517/>

## 8.6. Sistemas de control y regulación del flujo luminoso

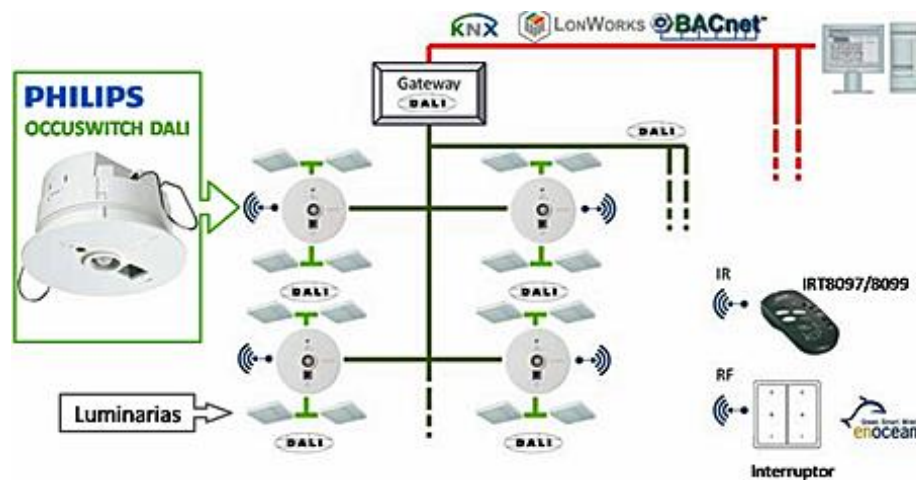
### 8.6.1. Sistema de control de luz diurna y detector de presencia

El DB-HE3 indica las condiciones necesarias para exigir un control del flujo luminoso de las luminarias instaladas. El proyecto incluye luminarias regulables con sensor de flujo en aquellos casos donde se requiere.

Prácticamente el monto completo de luminarias del proyecto son modelos regulables. En el caso de los modelos regulables se distinguen los que incluyen el sensor de luz diurna y los que no.

En el caso de la marca ETAP, la referencia “DE” indica que se trata del modelo regulable con sensor incluido en la propia pantalla y la referencia “D” hace referencia al modelo regulable sin sensor incorporado en la pantalla.

Sin embargo, ninguna luminaria incorpora sensores de presencia, por lo que deben ser incluidos en la instalación aparte. Esta tarea se llevará a cabo añadiendo sensores Philips OccuSwitch DALI LRM1080/00, compatibles con la instalación proyectada.



**Figura 8.12. Sensor de presencia Philips OccuSwitch DALI LRM1080/00.**<sup>8.12</sup>

*“Occuswitch es un detector de movimiento autónomo que desconecta el alumbrado de una zona cuando queda desocupada por medio de un interruptor de hasta 6ª compatible con cualquier tipo de lámpara o luminaria. Dispone de un sensor de alta precisión con un área de detección de movimiento cuadrada de 6 por 8 metros (montado a 2,7 m de*

<sup>8.12</sup> Fuente: <http://www.tarifa.lighting.philips.es/web/product/259905/lrm108000-detector-occuswitch-version-avanzada;jsessionid=06833CEBA49F3B9A234A0D61681D5C13>



*altura) y con una pantalla retráctil para impedir la detección en zonas adyacentes. El tiempo de retardo de apagado es fácilmente seleccionable entre 1 y 30 minutos. También incorpora una fotocélula inhibidora que evita que las luces se enciendan cuando hay suficiente aportación de luz solar. La versión adosada ofrece además la posibilidad de conectar varias unidades entre sí (mediante 2 hilos) para ofrecer un funcionamiento en paralelo, independientemente de la alimentación de cada equipo.” [34]*

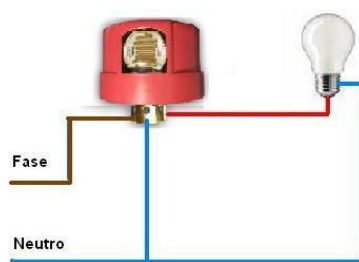
Los sensores se ubicarán teniendo en cuenta los diferentes circuitos que alimentan las instalaciones de iluminación. El objetivo al usar los sensores de presencia es disminuir el tiempo de funcionamiento de las nuevas luminarias, sin embargo, se debe mantener un mínimo de iluminación por seguridad, estética y confort.

Las pantallas seleccionadas tienen sensores de luz diurna individuales, pero no disponen de sensor de presencia, mientras que los downlights no disponen de ningún tipo de sensor.

Las cabinas de los aseos no tendrán sensores independientes debido al riesgo de sustracción existente en la actualidad. Se mantendrá siempre la iluminación en las zonas de acceso a hall de ascensores y las escaleras, ya que son zonas con mayor tránsito y forman parte de las rutas de evacuación.

Esta pequeña sectorización con sensores de presencia y control de luz diurna, junto al conjunto de luminarias que ya tienen regulación del flujo independiente, permitirán un ahorro de energía manteniendo unas condiciones de iluminación mínimas que no alteren el confort ni la seguridad de las personas que transitan por los pasillos.

En el caso del alumbrado exterior, se puede conectar una o varias fotocélulas a los circuitos del alumbrado para conseguir el mismo efecto. Actualmente, una única fotocélula está conectada a todo el alumbrado exterior.



**Figura 8.13. Esquema conexión fotocélula.** <sup>8.13</sup>

<sup>8.13</sup> Fuente: <https://k15.kn3.net/taringa/3/5/5/0/1/5/6/nicocuervo33/8E4.jpg>

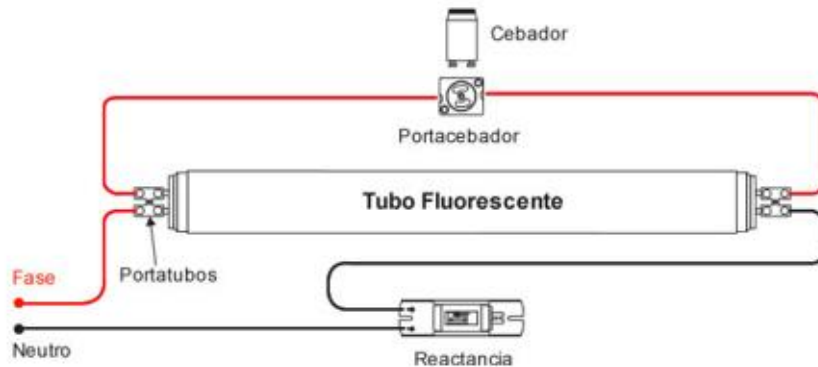
## 8.7. Sustitución instalación fluorescente a LED [35]

En el caso de sustituir toda la luminaria, la alimentación o driver de la nueva luminaria LED se conectará directamente a la red. Sin embargo, en caso de cambiar solo las lámparas, se deben desconectar las reactancias y cebadores, para conectar el LED o su alimentación/driver directamente a la red.

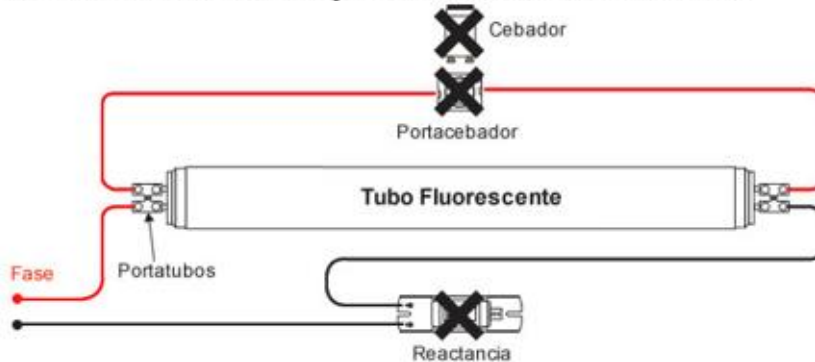
La metodología de reemplazo sigue los siguientes pasos:

- 1º Desconectar instalación de la red.
- 2º Retirar fluorescente, reactancia, cebador y portacebador.
- 3º Incorporar LED y conectar la fase a un extremo del portalámparas y el neutro en el otro extremo.

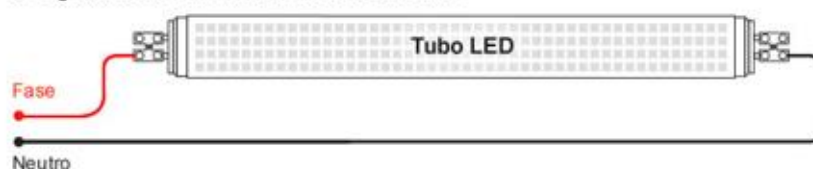
### 1º. Esquema eléctrico de la instalación de tubos fluorescentes



### 2º. Eliminación del cebador y reactancia del circuito eléctrico



### 3º. Esquema de conexión de tubos LED

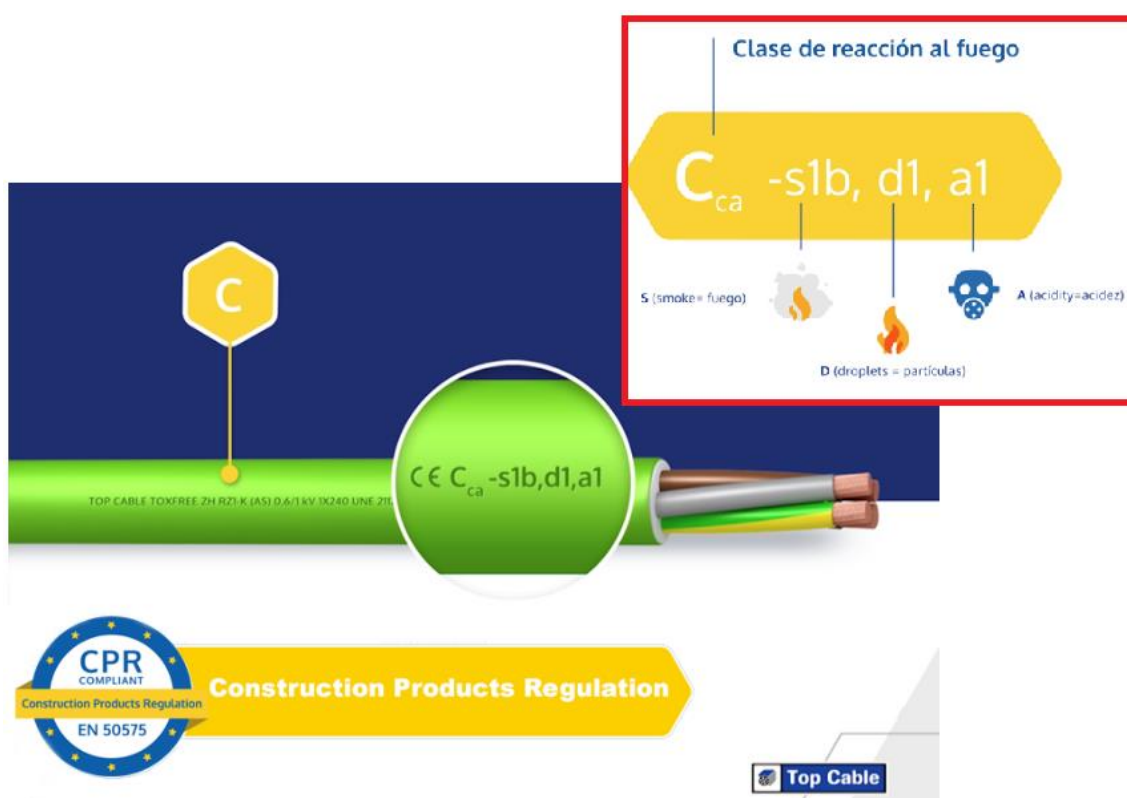


**Figura 8.14. Sustitución instalación fluorescente a LED.** <sup>8.14</sup>

<sup>8.14</sup> Fuente: <https://blog.ledbox.es/informacion-led/instalacion-de-luminarias/cambiar-un-tubo-fluorescente-por-un-tubo-led> y elaboración propia.

### 8.7.1. Cambio de cableado [36]

En el hipotético caso que se deba hacer una reforma o nueva instalación del cableado de las instalaciones de iluminación, es importante nombrar la nueva Normativa CPR (Construction Product Regulation) que entró en vigor el 1 de julio de 2016 con el objetivo de precisar los límites de la resistencia al fuego y sustancias peligrosas en los materiales utilizados en la construcción. La CPR tiene como objeto garantizar que todo el cableado de instalaciones permanentes de la Unión Europea es evaluado, clasificado y aprobado bajo un mismo criterio. Desde el 1 de julio de 2017 es obligatorio su cumplimiento.



**Figura 8.15. Código técnico de un cable que cumple la nueva CPR.** <sup>8.15</sup>

La CPR diferencia seis clases (de la A a la F), donde la A indica el máximo nivel de reacción (producto no combustible) y la F el menor nivel de reacción (no propaga una llama).

En cuanto al cableado eléctrico, los modelos más usados serán los intermedios (B, C, D y E).

<sup>8.15</sup> Fuente: <https://blog.ledbox.es/informacion-led/instalacion-de-luminarias/cambiar-un-tubo-fluorescente-por-un-tubo-led> y elaboración propia.

## Capítulo 9

### Simulaciones

Las simulaciones se realizan en Dialux Evo 7, a partir de los datos tomados en persona y los planos AutoCAD de las instalaciones. Dada la extensión del proyecto y la similitud de las áreas a calcular, la memoria incluye una muestra suficiente de simulaciones para demostrar el correcto funcionamiento de las nuevas instalaciones.

En cada simulación se describe la zona a calcular, así como sus características principales y todos los requisitos de RD y Normativa vigente.

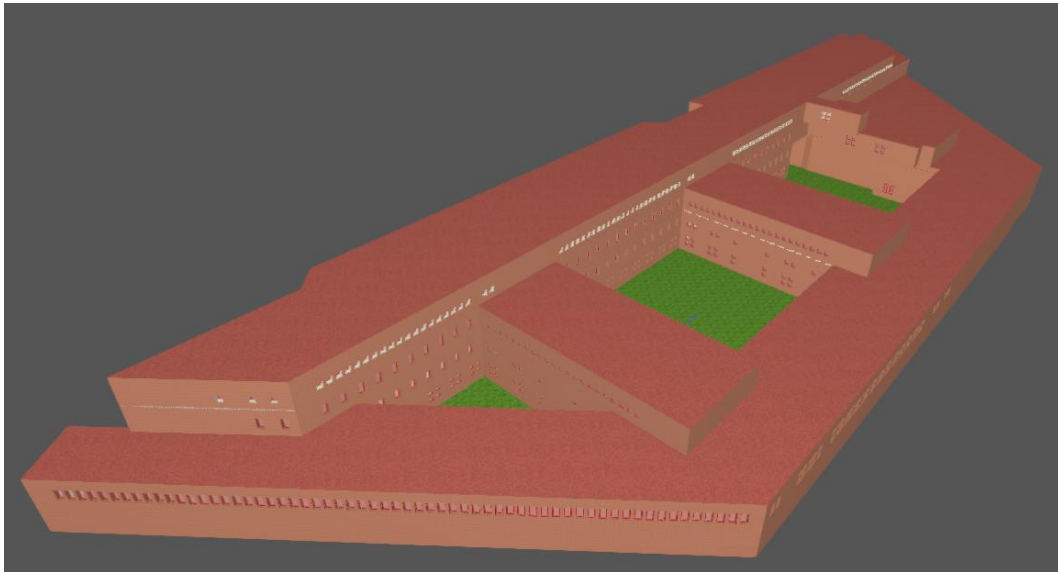
A la hora de realizar las simulaciones es importante respetar al máximo los detalles de las instalaciones como son las medidas de superficie y altura de instalación de las luminarias, así como el tipo de falso techo. Todos los edificios cuentan con falso techo tipo Armstrong, excepto Juan Benet I y II, que usan falso techo de aluminio lacado.

Las simulaciones muestran resultados calculados con pequeñas zonas marginales o sin ellas, por lo que la uniformidad real es aún mayor. Se especifica el FM de cada luminaria empleada.

El DB HE3 indica que:  $VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$  y Potencia instalada =  $\frac{n \cdot P}{S}$

A partir de los datos obtenidos en las simulaciones se podrá registrar el material necesario para realizar el proyecto y evaluar el coste económico. Para ello, también se tomarán otras medidas, como el uso de sensores de presencia o movimiento, así como comparar el coste de mantenimiento de las actuales instalaciones.

## 9.1. Edificio Agustín Betancourt



*Figura 9.1. Renderización edificio Agustín Betancourt.*<sup>9.1</sup>

### 9.1.1. Aula 1.0.B.03

El aula 1.0.B.03 se encuentra en la planta baja, entre el pasillo B y un patio interior del edificio Betancourt. Cuenta con doce ventanas en su fachada exterior.

En las aulas hay que realizar un cálculo extra porque hay pizarras verdes, negras o blancas.

Superficie	67,5 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	72,8/50/19,4 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,76 m	FM	0,88 y 0,88
Puntos UGR	1,20 m	Altura montaje	3,30 m (general) 2,80 m (pizarra)
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	8 pantallas 3 T8 36W	3 pantallas U25M1/LEDN50D 40W 6 pantallas U25M1/LEDN50DE 40W	
Iluminación pizarra	3 pantallas 1 T8 36W	2 pantallas R751R1/LEDN3635S 26W	
Potencia total	1.890 W	412 W (-78,20%)	

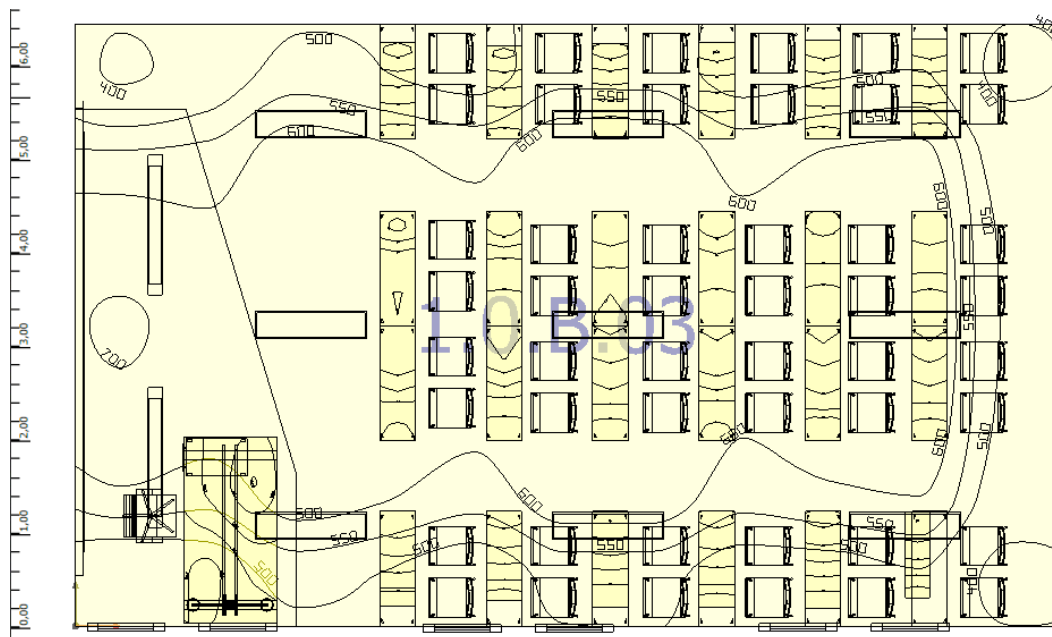
*Tabla 9.1. Datos y propuesta de actuación en aula 1.0.B.03.*<sup>T 9.1</sup>

<sup>9.1</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.1</sup> Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.2. Simulación en aula 1.0.B.03.** <sup>9.2</sup>



**Figura 9.3. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aula 1.0.B.03.** <sup>9.3</sup>

Las dos primeras filas de luminarias se encuentran a menos de 5m de las ventanas, por lo que son modelos con regulación del flujo luminoso.

<sup>9.2</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.3</sup> Fuente: elaboración propia.

Aula 1.0.B.03				
	577 lx		0.64	
Mesa alumnos				
	707 lx	0.98	18.1	< 10
	522 lx	0.88	18.1	< 10
	519 lx	0.88	18.4	< 10
	582 lx	0.88	17.7	< 10
	527 lx	0.89	18.3	< 10
	528 lx	0.88	18.4	< 10
	644 lx	0.99	17.5	< 10
	638 lx	0.98	18.1	< 10
	638 lx	0.98	18.1	< 10
	641 lx	0.98	18.1	< 10
	529 lx	0.90	18.2	< 10
	630 lx	0.98	18.0	< 10
	566 lx	0.88	17.5	< 10
	520 lx	0.89	16.2	< 10
	511 lx	0.89	18.4	< 10
	510 lx	0.89	18.0	< 10
	523 lx	0.87	18.4	< 10
	501 lx	0.87	17.8	< 10
Mesa profesor				
	581 lx		0.84	
	19.0		< 10	
Pizarra				
	678 lx		0.84	
UGR Pizarra				
			< 10	< 10

Figura 9.4. Resultados simulación sin luz diurna en aula 1.0.B.03. <sup>9.4</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m²] (Tabla 2.1)	3,5	1,058
	P máx. instalada [W/m²] (Tabla 2.2)	15	6,104
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.26.2)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	577
	UGR <sub>L</sub>	19	< 19
	U <sub>0</sub>	0,60	0,64
	R <sub>a</sub>	80	> 80
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.4)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	678
	UGR <sub>L</sub>	19	< 19
	U <sub>0</sub>	0,70	0,84
	R <sub>a</sub>	80	> 80

Tabla 9.2. Exigencias DB HE3 y UNE EN 12464-1 y resultados obtenidos en aula 1.0.B.03. <sup>T 9.2</sup>

<sup>9.4</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.2</sup> Fuente: elaboración propia.



9.1.2. Despacho 1.3.D.08

El despacho 1.3.D.08 se encuentra en la tercera planta baja del lado D del edificio Betancourt. Cuenta con dos amplias ventanas en su fachada exterior.

Superficie	10,75 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	75,48/82/19,1 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,74 m	FM	0,88 y 0,80
Puntos UGR	1,20 m	Altura montaje	3,30 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	1 pantalla 3 T8 36W	1 pantalla U25M2/LEDN50DE 38W 1 pantalla U23I2/LEDN35DE 34W	
Potencia total	210 W	68 W (-65,71%)	

Tabla 9.3. Datos y propuesta de actuación en despacho 1.3.D.08. <sup>T 9.3</sup>



Figura 9.5. Simulación en despacho 1.3.D.08. <sup>9.5</sup>

Ambas pantallas se encuentran a menos de 5m de las ventanas, por lo que son modelos con regulación del flujo luminoso.

<sup>T 9.3</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.5</sup> Fuente: elaboración propia.






Despacho 1.3.D.08		
	512 lx	0.00
Mesa		
	586 lx	0.82
UGR		
	10.9	< 10

Figura 9.6. Resultados simulación sin luz diurna en despacho 1.3.D.08. <sup>9.6</sup>

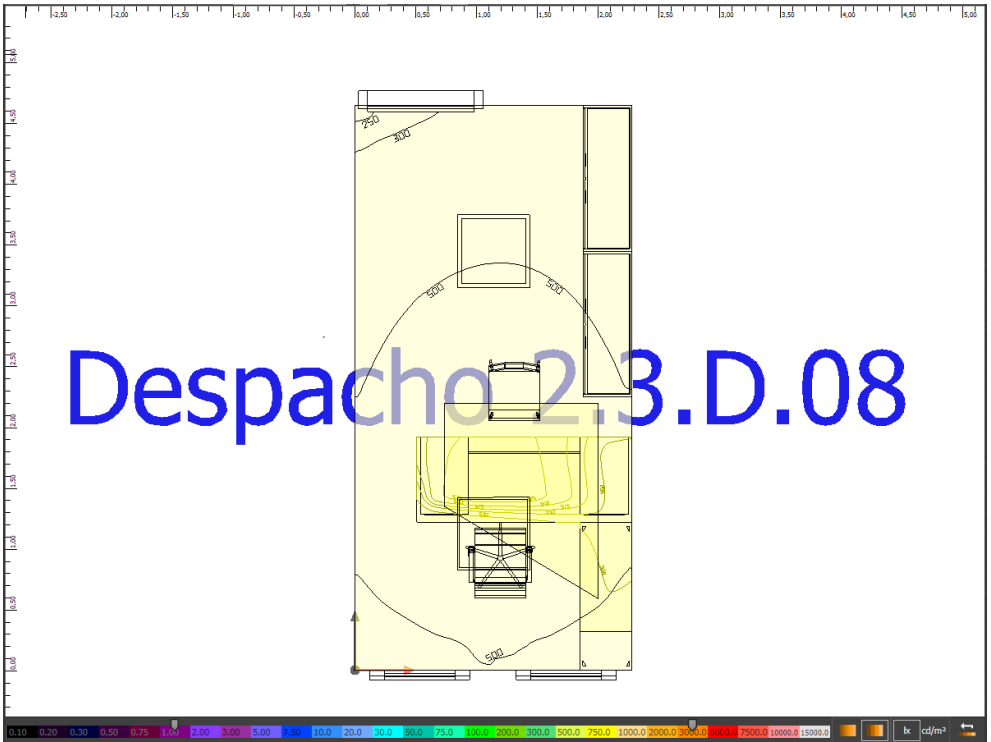


Figura 9.7. Visualización distribución luminarias e isóneas en aula 1.0.B.03. <sup>9.7</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	3	1,308
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12 a 15	6,716
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.26.2)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	586
	$UGR_L$	19	< 19
	$U_0$	0,60	0,82
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.4. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en despacho 1.3.D.08. <sup>T 9.4</sup>

<sup>9.6</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.7</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.4</sup> Fuente: elaboración propia.

9.1.3. Laboratorio 1.0.S.01

El laboratorio 1.0.S.01 se encuentra en la planta baja de la zona interior de talleres del edificio Betancourt. Cuenta con solo tres ventanas que apenas captan luz, debido a la situación del laboratorio dentro del edificio, así como las protecciones exteriores que tienen. Por ese motivo, el uso de luminarias regulables con sensor del flujo luminoso no tiene sentido en este caso.

Superficie	64,25 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	70,2/81,4/16,8 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	1,00 m	FM	0,88 y 0,88
Puntos UGR	1,00 – 1,50 m	Altura montaje	3,30 m (general) 2,80 m (pizarra)
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	8 pantallas 3 T8 36W	8 pantallas U25M1/LEDN50D 40W	
Iluminación pizarra	3 pantallas 1 T8 36W	1 pantallas R751R1/LEDN3635S 26W	
Potencia total	1.890 W	346 W (-81,69%)	

Tabla 9.5. Propuesta actuación en laboratorio 1.0.S.01. <sup>T 9.5</sup>

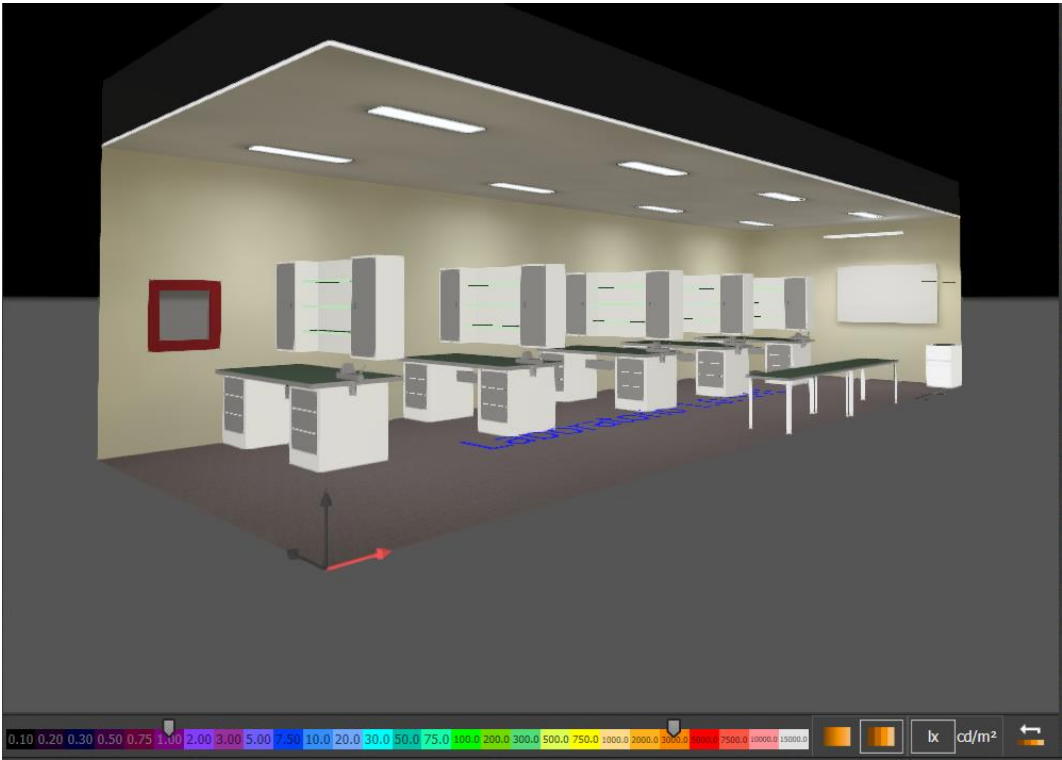


Figura 9.8. Simulación en laboratorio 1.0.S.01. <sup>9.8</sup>

<sup>T 9.5</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.8</sup> Fuente: elaboración propia.














Laboratorio 1.0.S.01					
	610 lx	0.79			
Mesa 1			UGR Mesa 1		
	692 lx	0.78		16.3	< 10
Mesa 2			UGR Mesa 2		
	616 lx	0.79		15.5	< 10
Mesa 3			UGR Mesa 3		
	502 lx	0.87		17.4	< 10
Mesa 4			UGR Mesa 4		
	576 lx	0.78		17.4	< 10
Mesa 5			UGR Mesa 5		
	630 lx	0.77		15.7	< 10
Pizarra			UGR Pizarra		
	578 lx	0.86		17.4	< 10

Figura 9.9. Resultados simulación sin luz diurna en laboratorio 1.0.S.01. <sup>9.9</sup>

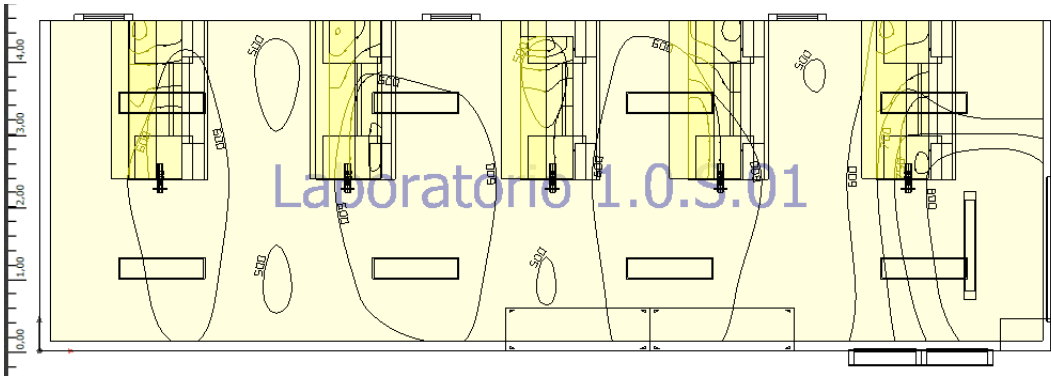


Figura 9.10. Visualización distribución luminarias e isolíneas en laboratorio 1.0.S.01. <sup>9.10</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	3,5	0,883
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	15	5,385
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.9)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	610
	$UGR_L$	19	< 19
	$U_0$	0,60	0,79
	$R_a$	80	> 80
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.4)	$\bar{E}_m$ [lx]	300	579
	$UGR_L$	19	< 19
	$U_0$	0,70	≥ 0,85
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.6. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en laboratorio 1.0.S.01. <sup>T 9.6</sup>

<sup>9.9</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.10</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.6</sup> Fuente: elaboración propia.

### 9.1.4. Talleres nave sur

Los talleres de la nave sur tienen amplios lucernarios.

Superficie	1.268 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	70/17/1,8 %	Vida útil	L70B10 (50.000h)
Plano trabajo	0,80 m	FM	0,61
Puntos UGR	1,20 - 1,90 m	Altura montaje	8,00 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	44 400W/730 E40	48 LED 133W/840	
Potencia total	26.400 W	6.384 W (-75,82%)	

*Tabla 9.7. Datos y propuesta actuación en talleres nave sur.* <sup>T 9.7</sup>

La luminaria escogida es el modelo Industrial Hall Midi 133W de la marca RZB con IP65 e IK07 y regulación del flujo luminoso.



*Figura 9.11. Simulación en talleres nave sur.* <sup>9.11</sup>

<sup>T 9.7</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.11</sup> Fuente: elaboración propia.

Superficie de cálculo 1		
	519 lx	0.83
UGR 1,20 m		
	22	-
UGR 1,50 m		
	22	-
UGR 1,70 m		
	22	-
UGR 1,90 m		
	22	-

Figura 9.12. Resultados simulación sin luz diurna en talleres nave sur. <sup>9.12</sup>

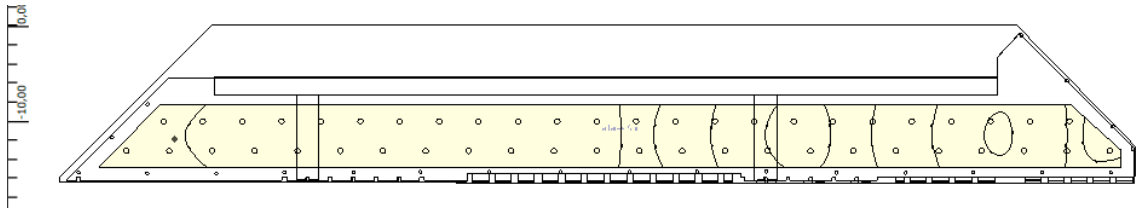


Figura 9.13. Visualización distribución luminarias e isótopos en talleres nave sur. <sup>9.13</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	3,5	0,97
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12	5,035
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.15)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	519
	$UGR_L$	22	< 22
	$U_0$	0,60	0,83
	$R_a$	80	80

Tabla 9.8. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en talleres nave sur. <sup>T 9.8</sup>

<sup>9.12</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.13</sup> Fuente: elaboración propia.

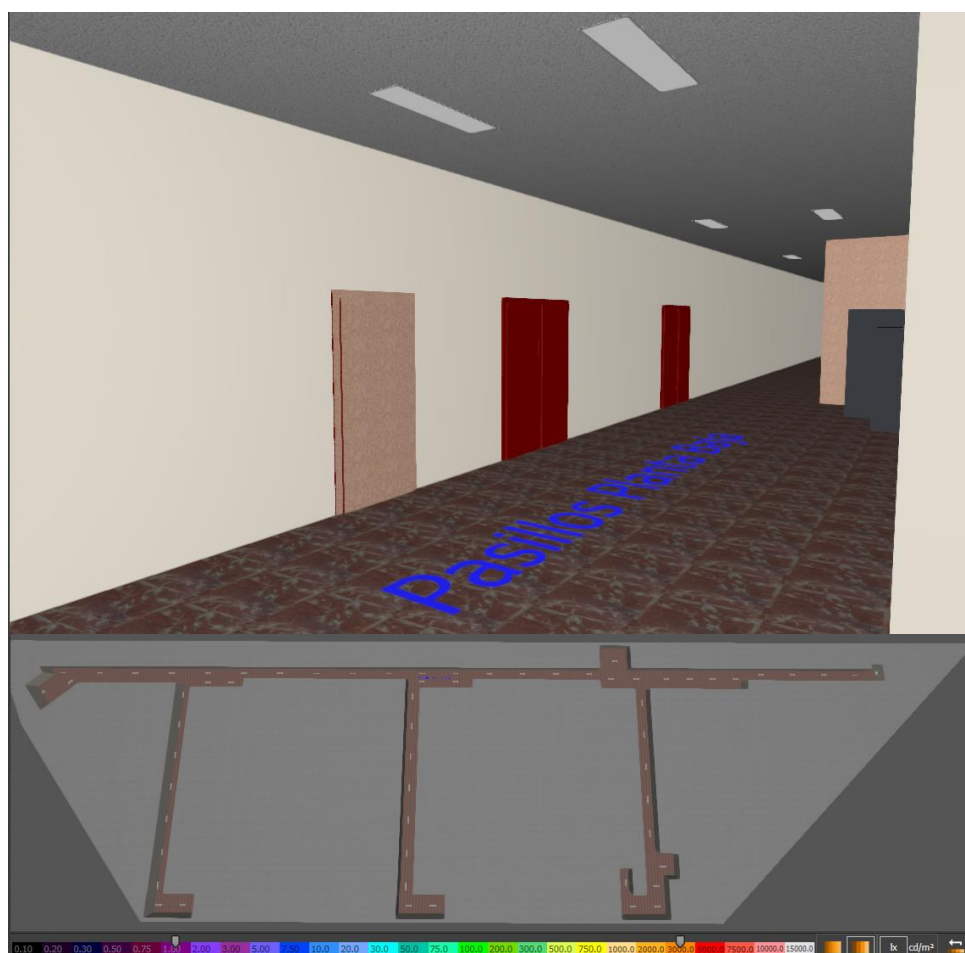
<sup>T 9.8</sup> Fuente: elaboración propia.

### 9.1.5. Pasillos planta baja

La mayor parte de los pasillos de la planta baja del edificio Betancourt no tienen ninguna ventana para captar la luz natural. Por ese motivo se seleccionan luminarias regulables con o sin sensor para regular la intensidad luminosa. Pero ambas permiten crear un sistema centralizado en el futuro, por ejemplo junto a detectores de presencia.

Superficie	1.146 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	74,8/82/21,7 %	Vida útil	(50.000h)
Plano trabajo	0 m	FM	0,80
Puntos UGR	1,30 - 1,90 m	Altura montaje	3,30 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	86 pantallas 2 T8 36W 6 downlights 2x22W 9 downlights 4x9W	31 pantallas U23F1/LEDN35DE 34W 32 pantallas U23F1/LEDN35D 34W	
Potencia total	13.090 W	2.142 W (-83,64%)	

*Tabla 9.9. Propuesta actuación en pasillos planta baja. <sup>T 9.9</sup>*



*Figura 9.14. Simulación en pasillos planta baja. <sup>9.14</sup>*

<sup>T 9.9</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.14</sup> Fuente: elaboración propia.










	Plano suelo	
	UGR 1,30 m altura	134 lx
	UGR 1,50 m altura	18,4
	UGR 1,70 m altura	-
	UGR 1,90 m altura	19,4
		< 10
		< 10
		19,9
		< 10

Figura 9.15. Resultados simulación sin luz diurna en pasillos planta baja. <sup>9.15</sup>

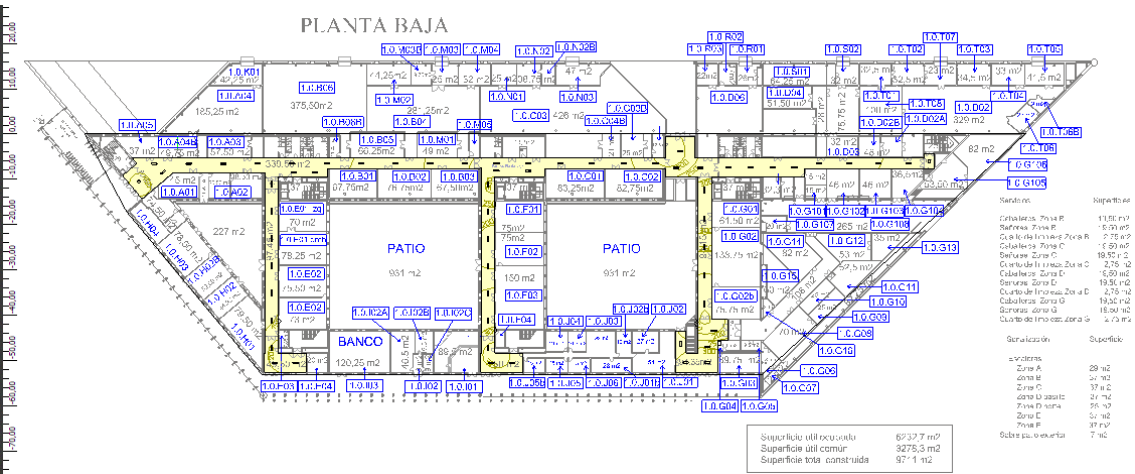


Figura 9.16. Visualización distribución luminarias e isóneas en pasillos planta baja. <sup>9.16</sup>

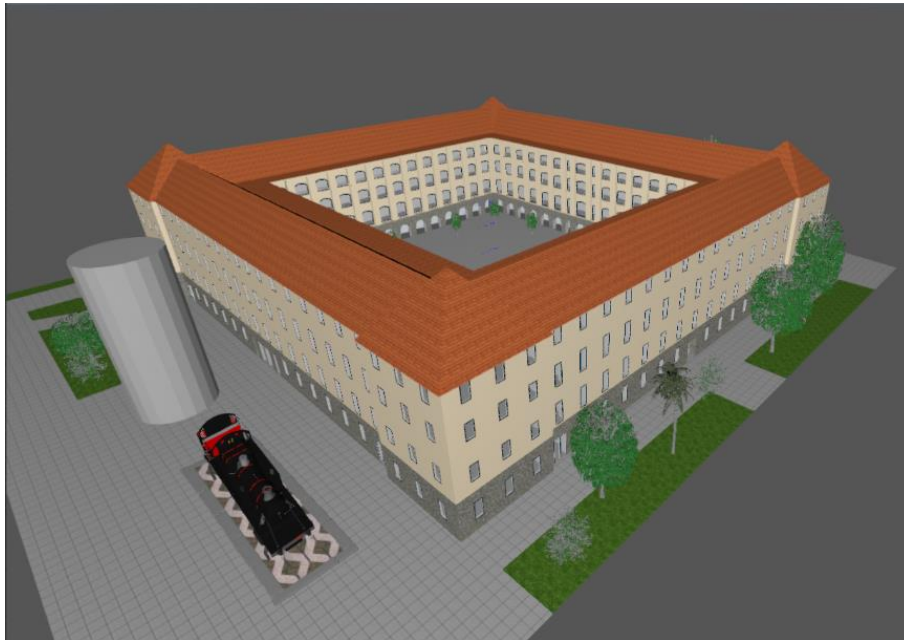
Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	6	1,263
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	15	1,869
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.17)	$\bar{E}_m$ [lx]	100	134
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,40	0,76
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.10. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillos planta baja. <sup>T 9.10</sup>

<sup>9.15</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.16</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>T 9.10</sup> Fuente: elaboración propia.



## 9.2. Edificio Sabatini



*Figura 9.17. Renderización edificio Sabatini.*<sup>9.17</sup>

### 9.2.1. Despacho 2.0.B.19

El despacho 2.0.B.19 se encuentra en la planta baja del lado oeste del edificio Sabatini y cuenta con dos amplias ventanas en su fachada exterior.

Superficie	30,44 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	20/50/20 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,74 m	FM	0,88
Puntos UGR	1,20 m	Altura montaje	3,30 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	2 pantallas 4 T8 36W 2 pantallas 2 T8 18W	3 pantallas U25M1/LEDN50DE 40W	
Potencia total	700 W	120 W (-82,86%)	

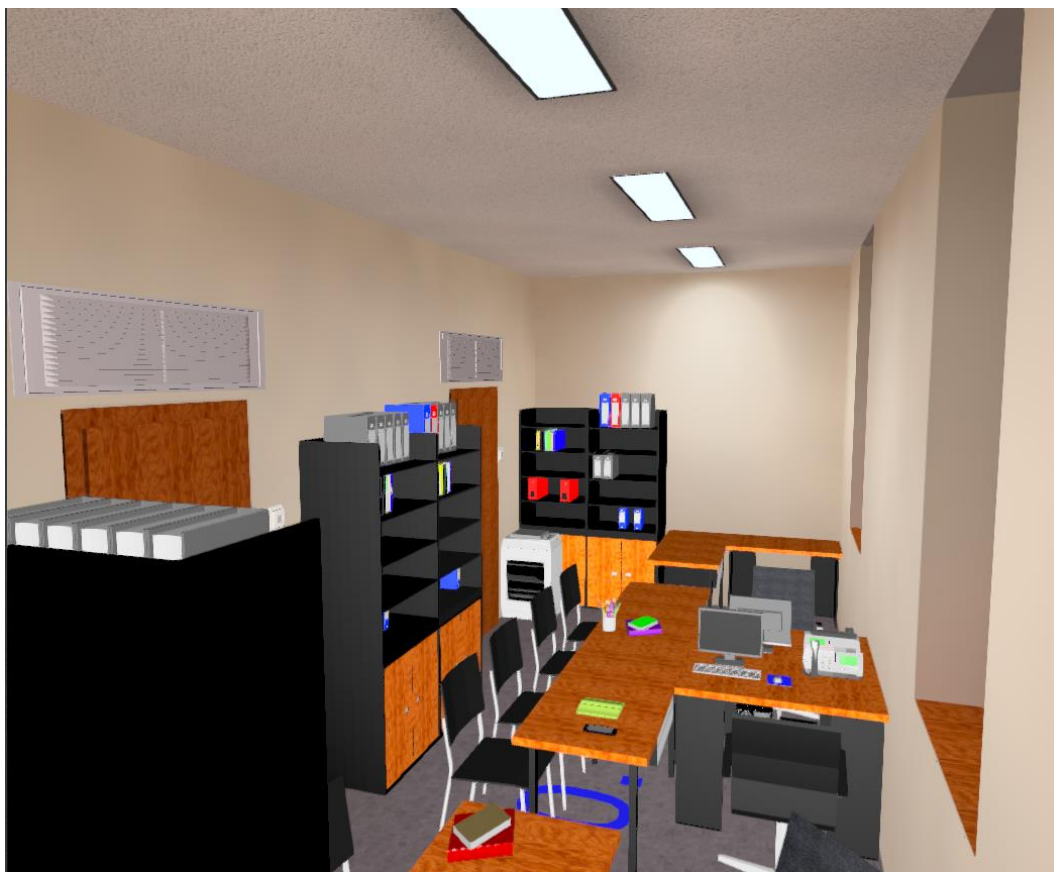
*Tabla 9.11. Datos y propuesta de actuación en despacho 2.0.B.19.*<sup>T 9.11</sup>

Ambas pantallas se encuentran a menos de 5m de las ventanas, por lo que son modelos con regulación del flujo luminoso.

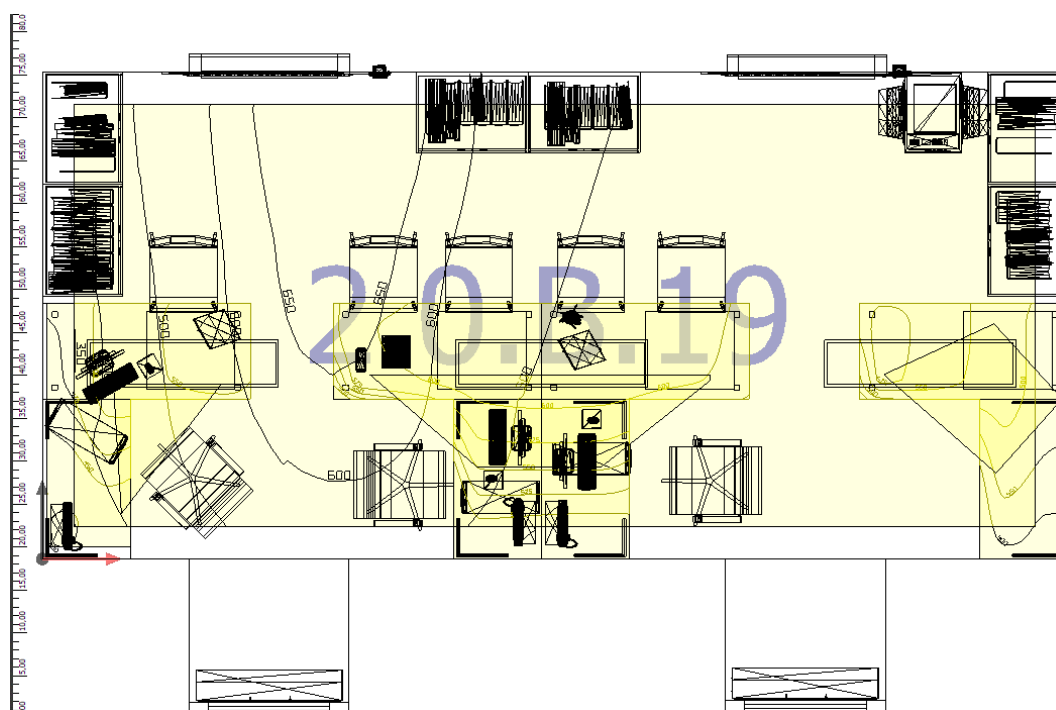
<sup>9.17</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.11</sup>





**Figura 9.18. Simulación en despacho 2.0.B.19.**<sup>9.18</sup>



**Figura 9.19. Visualización distribución luminarias e isolíneas en despacho 2.0.B.19.**<sup>9.19</sup>

<sup>9.18</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.19</sup> Fuente: elaboración propia.

Despacho 2.0.B.19	574 lx	0.63
Mesa despacho 1	565 lx	0.82
Mesa despacho 4	558 lx	0.79
Mesas despacho 2 y 3	647 lx	0.87
UGR Mesa despacho 1	18.0	< 10
UGR Mesa despacho 4	14.9	< 10
UGR Mesas despacho 2 y 3	13.3	< 10

**Figura 9.20. Resultados simulación sin luz diurna en despacho 2.0.B.19.**<sup>9.20</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	3	0,687
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12	3,942
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.26.2)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	574
	$UGR_L$	19	< 19
	$U_0$	0,60	0,63
	$R_a$	80	> 80

**Tabla 9.12. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en despacho 2.0.B.19.**<sup>T 9.12</sup>

<sup>9.20</sup> Fuente: elaboración propia.

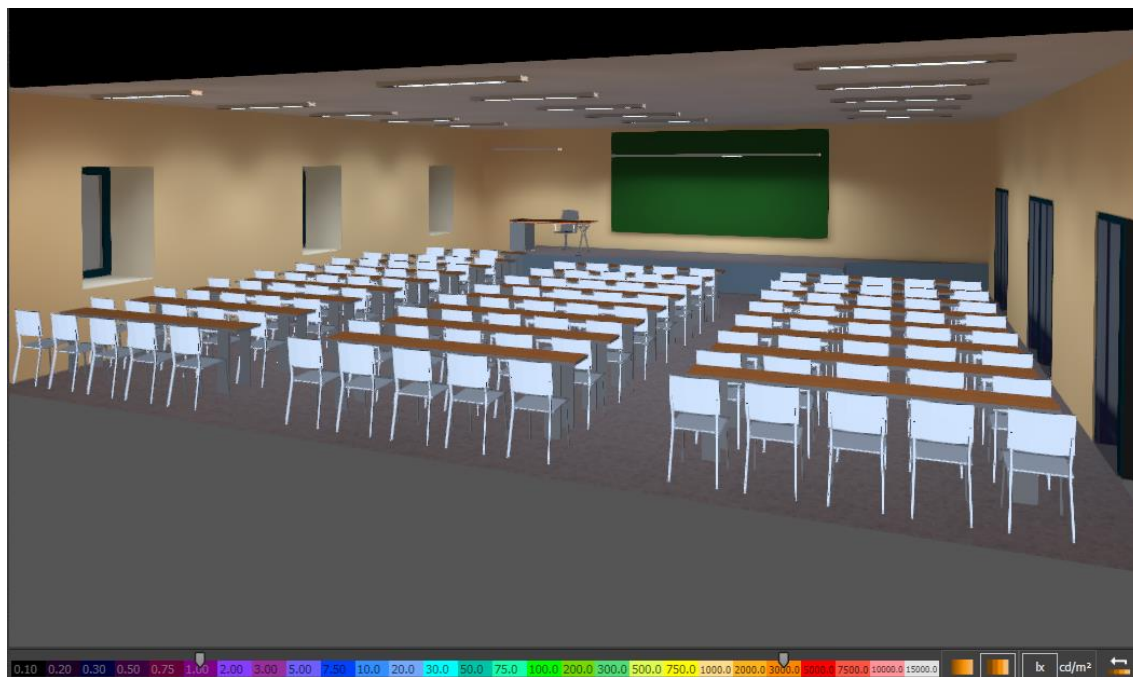
<sup>T 9.12</sup> Fuente: elaboración propia.

### 9.2.2. Aula 2.3.B.04.

El aula 2.3.B.04 se encuentra en la tercera planta del lado oeste del edificio Sabatini. Cuenta con tres amplias ventanas en su fachada exterior.

Superficie	144 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	64,7/68,5/17,7 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,76 m	FM	0,88 y 0,88
Puntos UGR	1,20 m	Altura montaje	3,50 y 3,00 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	32 pantallas 2 T8 36W	6 pantallas U25M1/LEDN50DE 40W 10 pantallas U25M1/LEDN50D 40W	
Iluminación pizarra	5 T8 36W	3 pantallas R751R1/LEDN3635S 26W	
Potencia total	4.830 W	718 W (-85,13%)	

*Tabla 9.13. Datos y propuesta de actuación en aula 2.3.B.04.* <sup>T 9.13</sup>



*Figura 9.21. Simulación en aula 2.3.B.04.* <sup>9.21</sup>

La primera fila con seis luminarias se encuentra a menos de 5m de las ventanas, por lo que son modelos con regulación del flujo luminoso.

<sup>T 9.13</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.21</sup> Fuente: elaboración propia.

Conjunto mesas alumnos			UGR Alumnos		
	520 lx	0.84		18.5	-
	511 lx	0.98	UGR Alumnos 1,20 m		
	502 lx	0.84		18.4	-
	521 lx	0.84	UGR profesor		
Mesa profesor				18.9	-
	Pizarra				
	537 lx	0.78			

Figura 9.22. Resultados simulación sin luz diurna en aula 2.3.B.04. <sup>9.22</sup>

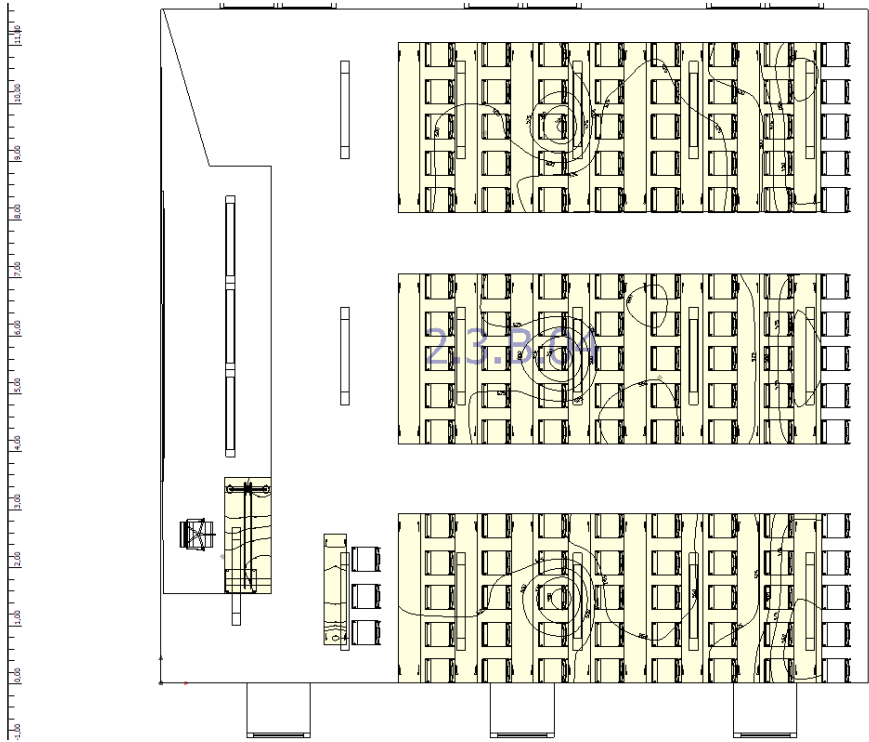


Figura 9.23. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aula 2.3.B.04. <sup>9.23</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	3,5	0,885
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	15	4,542
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.26.2)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	513
	UGR <sub>L</sub>	19	< 19
	U <sub>0</sub>	0,60	≥ 0,71
	R <sub>a</sub>	80	> 80
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.4)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	547
	UGR <sub>L</sub>	19	< 19
	U <sub>0</sub>	0,70	0,78
	R <sub>a</sub>	80	> 80

Tabla 9.14. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aula 2.3.B.04. <sup>T 9.14</sup>

<sup>9.22</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.23</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.14</sup> Fuente: elaboración propia.

### 9.2.3. Pasillos planta 1

Los pasillos de la planta 1 del edificio Sabatini tienen 1.575 m<sup>2</sup> de superficie. Existen pequeños pasillos interiores y un pasillo central con forma de cuadrado abierto, que cuenta con amplias ventanas en su parte interior para captar la luz natural.

Superficie	1.575 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	67,8/34/16,6 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0 m	FM	0,88 y 0,76
Puntos UGR	1,30 – 1,90 m	Altura montaje	3,3 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	5 pantallas 4 T8 36W 23 pantallas 2 T8 36W 2 pantallas 4 T8 18W 89 downlights 2x22W 17 plafones 2x22W	46 pantallas U23F1/LEDN35DE 34W 12 pantallas U23F1/LEDN35D 34W 7 downlights LED 840 ETDD 01 15W 60 downlights LED 840 ET 01 15W	
Potencia total	12.320 W	2.977 W (-75,84%)	

*Tabla 9.15. Datos y propuesta de actuación en pasillos planta 1.* <sup>T 9.15</sup>

Todas las luminarias son regulables, excepto las de pasillos interiores.



*Figura 9.24. Simulación en pasillos planta 1.* <sup>9.24</sup>

<sup>T 9.15</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.24</sup> Fuente: elaboración propia.

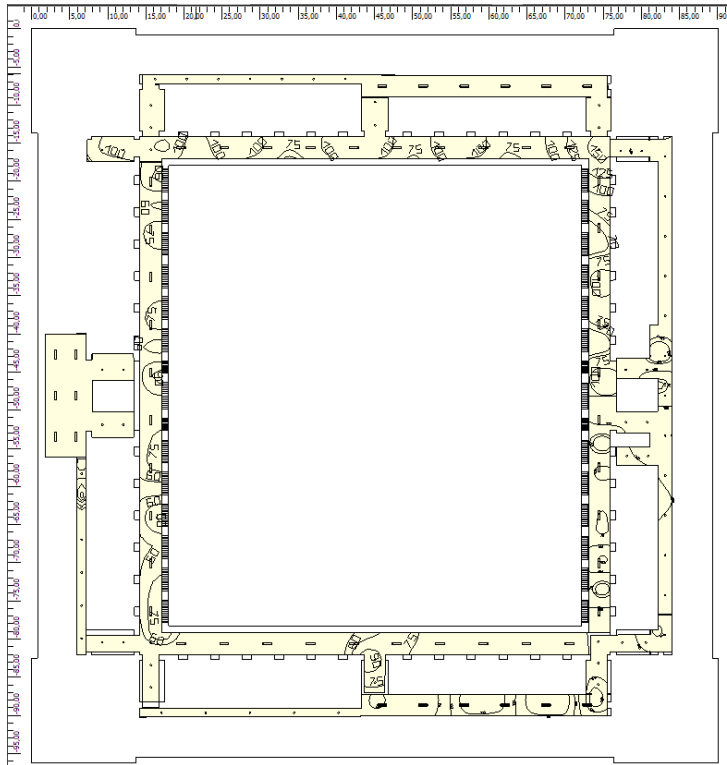


Figura 9.25. Visualización distribución luminarias e isolíneas en pasillos planta 1. <sup>9.25</sup>

Pasillos Planta 1 (1)			UGR 1,30 m		
	101 lx	0.82		24.7	-
Pasillos Planta 1 (2)			UGR 1,40 m		
	102 lx	0.61		24.4	-
Pasillos Planta 1 (3)			UGR 1,50 m		
	102 lx	0.80		21.4	-
Pasillos Planta 1 (4)			UGR 1,60 m		
	128 lx	0.70		23.1	-
Pasillos Planta 1 (6)			UGR 1,70 m		
	103 lx	0.63		23.2	-
Pasillos Planta 1 (5)			UGR 1,80 m		
	112 lx	0.75		23.2	-
			UGR 1,90 m		
				22.9	-

Figura 9.26. Resultados simulación sin luz diurna en pasillos planta 1. <sup>9.26</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	6	1,800
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12	1,890
UNE-EN 12464-1 (Tablas 5.36.17)	$\bar{E}_m$ [lx]	100	105
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,40	> 0,61
	$R_a$	80	80

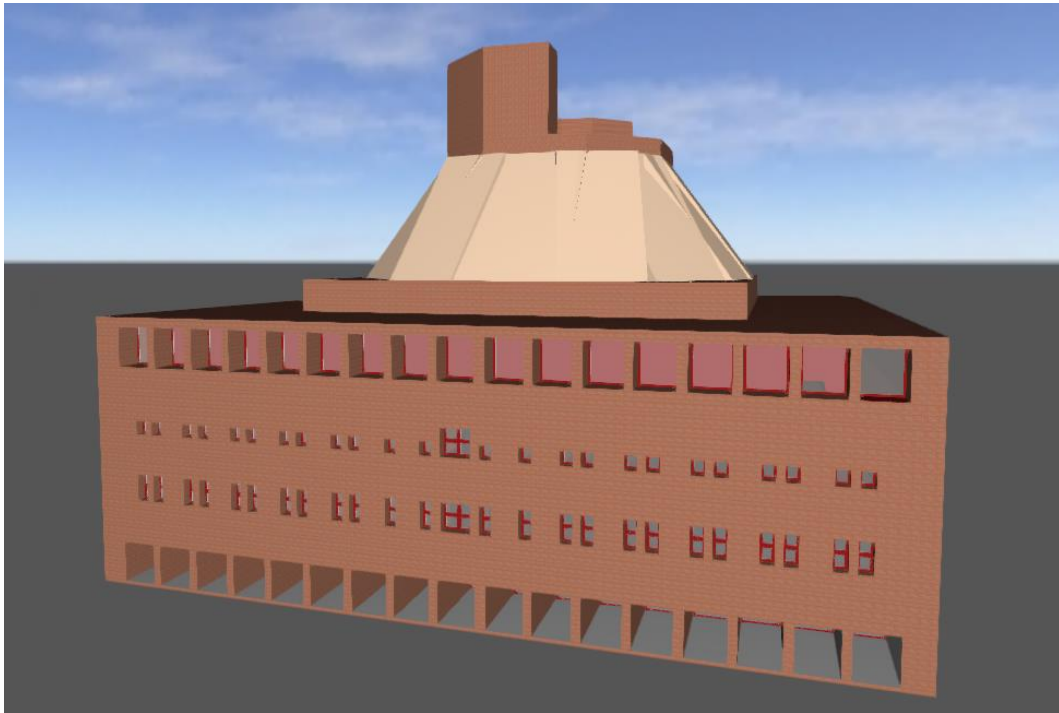
Tabla 9.16. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillos planta 1. <sup>T 9.16</sup>

<sup>9.25</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.26</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.16</sup> Fuente: elaboración propia.

### 9.3. Biblioteca Rey Pastor



*Figura 9.27. Renderización biblioteca Rey Pastor.*<sup>9.27</sup>

#### 9.3.1. Sala de lectura y estanterías planta 1

La sala de lectura de la planta 1 con una planta cuadrada abierta de 1771,25 m<sup>2</sup> de superficie. En su pared interior cuenta en su totalidad con grandes ventanales que captan la luz solar y en su pared exterior cuenta con numerosas ventanas de un tamaño menor. En el lateral oeste se ubican las estanterías de la biblioteca, ocupando 200 m<sup>2</sup> del total.

Superficie	1.771.25 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	74,8/18,1/37,8 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,80 m	FM	0,88
Puntos UGR	1,20 y 1,50 – 1,90 m	Altura montaje	3,3 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	433 pantallas 1 T8 36W 2 pantallas 1 T8 18W	122 pantallas U25M1/LEDN50DE 40W 36 pantallas U25M1/LEDN50D 40W	
Potencia total	30.380 W	6.320 W (-79,20%)	

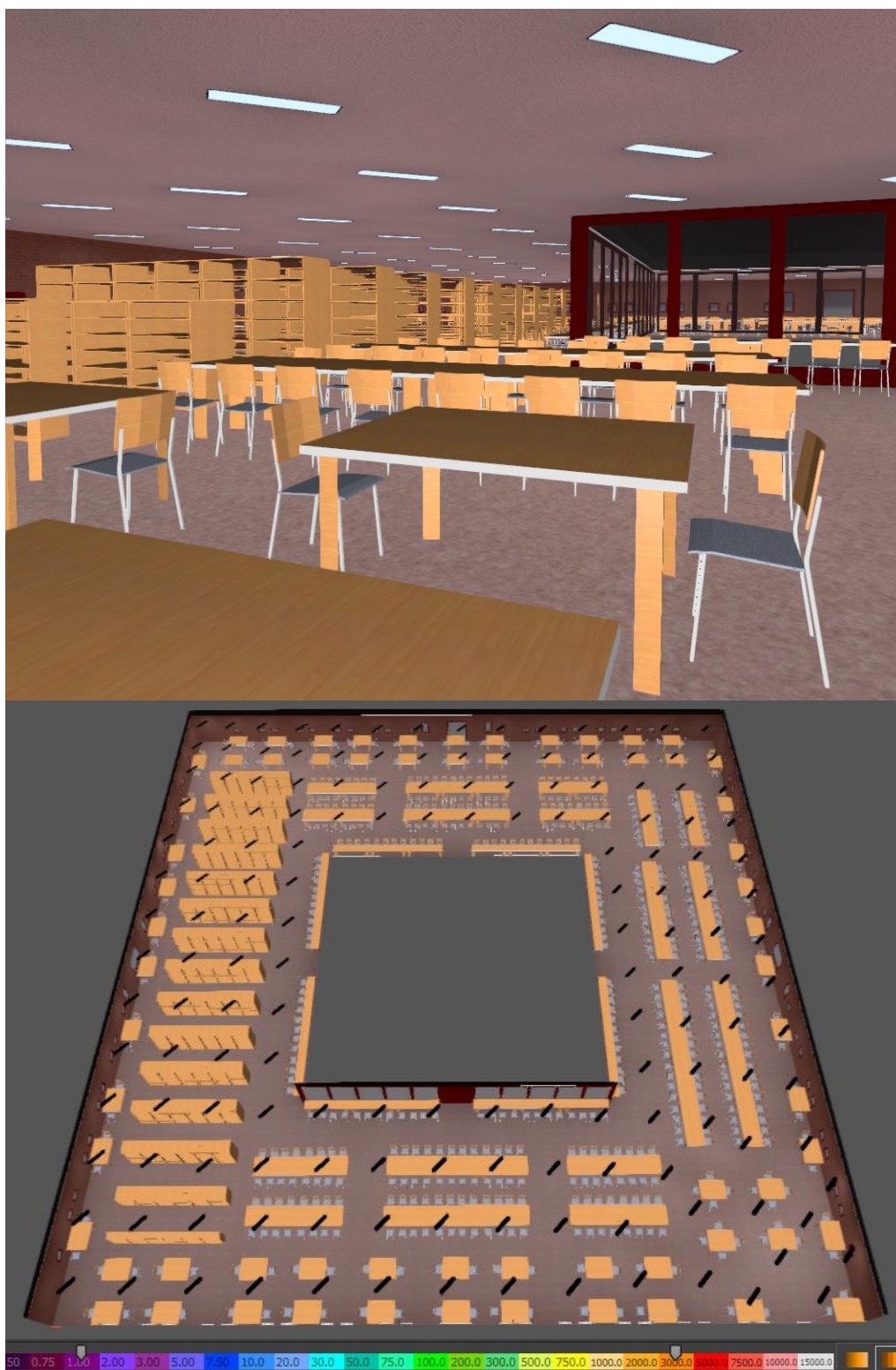
*Tabla 9.17. Datos y propuesta de actuación en sala de lectura y estanterías planta 1.*<sup>T 9.17</sup>

Las dos primeras filas de luminarias desde el lado exterior se encuentran a menos de 5m de las ventanas, por lo que son modelos con regulación del flujo luminoso. Sin embargo, solo la primera fila del lado interior es regulable.

<sup>9.27</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.17</sup> Fuente: elaboración propia.





*Figura 9.28. Simulación en sala de lectura y estanterías planta 1.*<sup>9.28</sup>

<sup>9.28</sup> Fuente: elaboración propia.



Sala lectura biblioteca			UGR persona 1,50 m			UGR persona 1,80 m		
	513 lx	0.71		17.6	-		17.9	-
	UGR mesa 1,20 m			UGR persona 1,60 m			UGR persona 1,90 m	
	17.1	-		17.8	-		18.1	-
	16.8	-		UGR persona 1,70 m				
	16.6	-		17.8	-			

Figura 9.29. Resultados simulación sin luz diurna en sala de lectura y estanterías planta 1. <sup>9.29</sup>

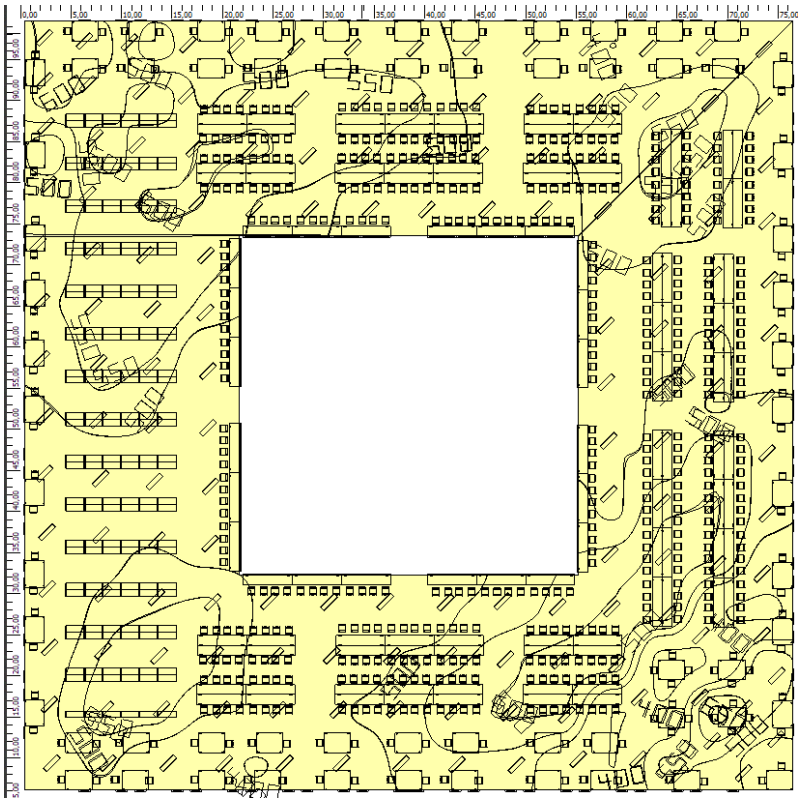


Figura 9.30. Visualización distribución luminarias e isoléneas en sala y estanterías planta 1. <sup>9.30</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m²] (Tabla 2.1)	5	1,052
	P máx. instalada [W/m²] (Tabla 2.2)	15	5,396
UNE-EN 12464-1  (Tabla 5.33.2)	$\bar{E}_m$ [lx]	500	513
	$UGR_L$	19	< 19
	$U_0$	0,60	0,71
	$R_a$	80	> 80
UNE-EN 12464-1  (Tabla 5.33.1)	$\bar{E}_m$ [lx]	200	513
	$UGR_L$	19	< 19
	$U_0$	0,40	0,71
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.18. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos sala lectura y estanterías planta 1. <sup>T 9.18</sup>

<sup>9.29</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.30</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.18</sup> Fuente: elaboración propia.

## 9.4. Edificio Torres Quevedo



*Figura 9.31. Renderización edificio Torres Quevedo.*<sup>9.31</sup>

### 9.4.1. Pasillos planta baja

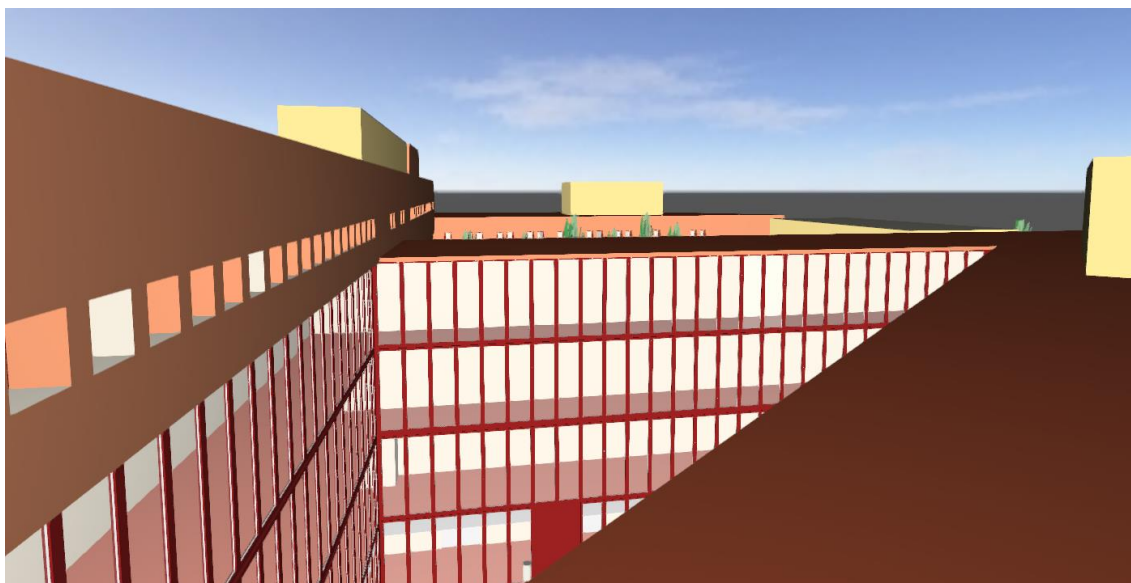
Los pasillos de la planta baja del edificio Torres Quevedo tienen 1.332,75 m<sup>2</sup> de superficie. Los lados B, D y E del edificio forman un triángulo con grandes ventanales y el resto de pasillos quedan en el interior del edificio, aunque siguen existiendo ventanales de menor tamaño que igualmente permiten la entrada de luz natural.

Superficie	1.332,75 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	70/52,5/21,7 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0 m	FM	0,88 y 0,76
Puntos UGR	1,50 – 1,90 m	Altura montaje	3,3 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	92 pantallas 2 T8 36W 9 downlights 2x22W	31 pantallas U23F1/LEDN35DE 34W 40 pantallas U23F1/LEDN35D 34W 5 downlights LED 840 ETDD 01 15W 2 downlights LED 840 ET 01 15W	
Potencia total	13.510 W	2.519 W (-81,35%)	

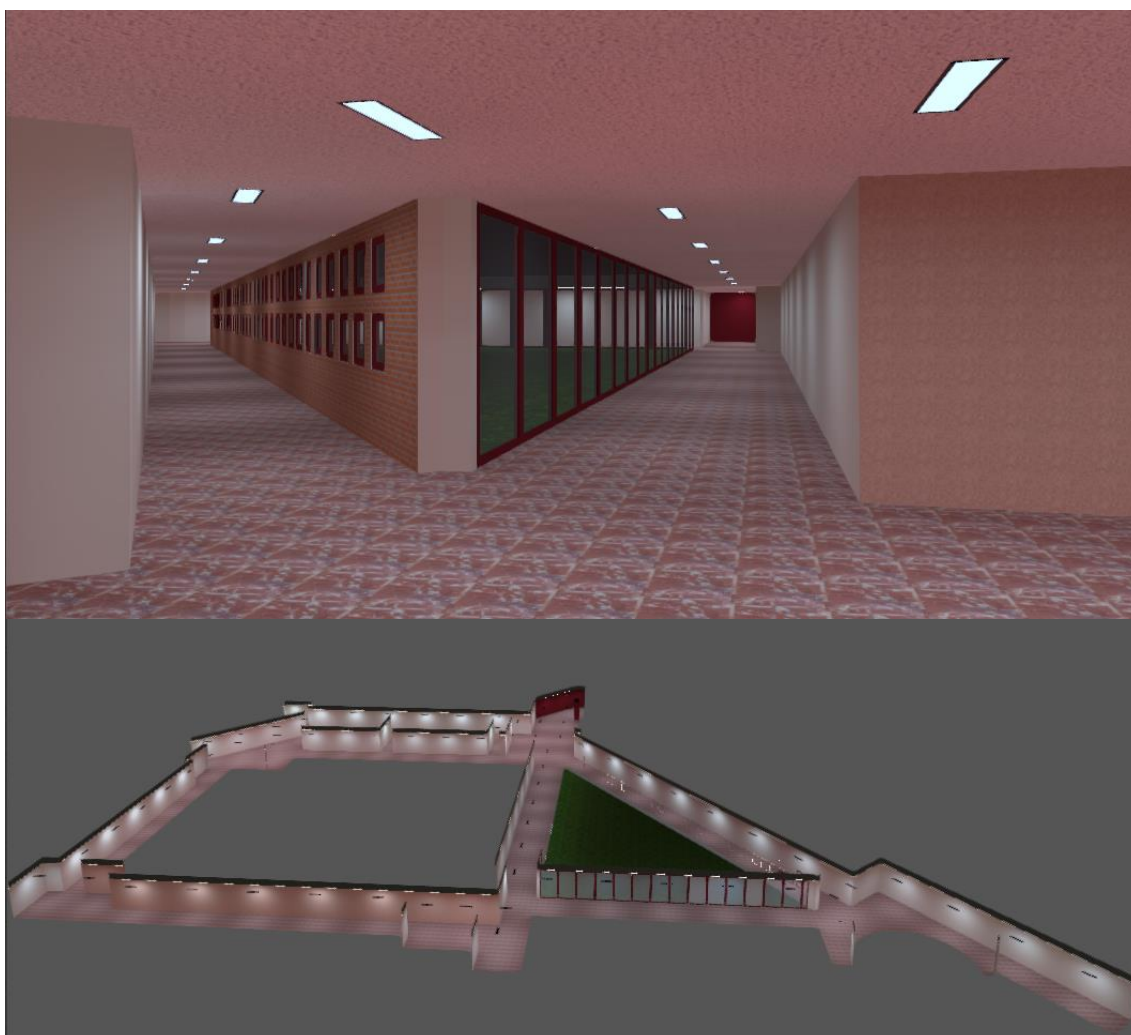
*Tabla 9.19. Datos y propuesta de actuación en pasillos planta baja.*<sup>T 9.19</sup>

<sup>9.31</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.19</sup> Fuente: elaboración propia.



*Figura 9.32. Detalle fachada lados B, D y E edificio Torres Quevedo.*<sup>9.32</sup>



*Figura 9.33. Simulación en pasillos planta baja.*<sup>9.33</sup>

<sup>9.32</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.33</sup> Fuente: elaboración propia.

Los pasillos B, D y E cuentan con luminarias con flujo luminoso regulable, igual que las dispuestas a menos de 5 metros de las ventas o vestíbulos de entradas.

Debido a los grandes ventanales de los pasillos B y D, en un día soleado sus luces no se encenderán por falta de necesidad.

Suelo	116 lx	0.43	UGR 1,70 m	22.7	-
UGR 1,50 m	22.3	-	UGR 1,80 m	23.0	-
UGR 1,60 m	22.5	-	UGR 1,90 m	23.3	-

Figura 9.34. Resultados simulación sin luz diurna en pasillos planta baja. <sup>9.34</sup>

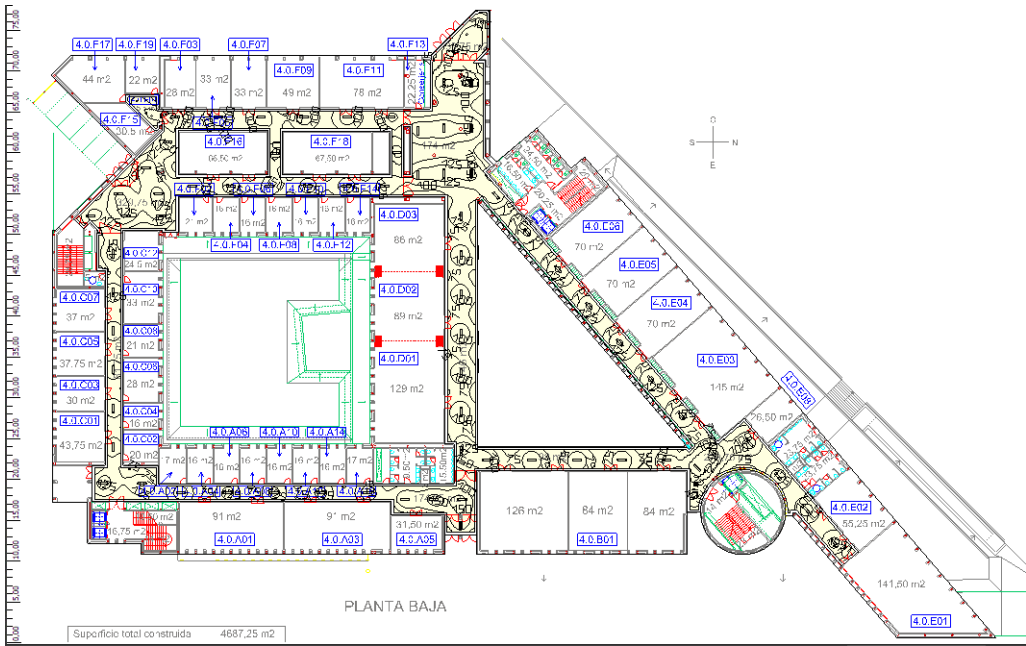


Figura 9.35. Visualización distribución luminarias e isolíneas en pasillos planta baja. <sup>9.35</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m²] (Tabla 2.1)	6	1,629
	P máx. instalada [W/m²] (Tabla 2.2)	12	1,890
UNE-EN 12464-1 (Tabla 5.36.17)	$\bar{E}_m$ [lx]	100	116
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,40	0,43
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.20. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillos planta baja. <sup>T 9.20</sup>

<sup>9.34</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.35</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.20</sup> Fuente: elaboración propia.

9.4.2. Aula informática 4.S.D.02

El aula de informática 4.S.D.02 se encuentra en la planta sótano del lado D del edificio Torres Quevedo. Cuenta con solo dos pequeñas ventanas que apenas captan luz, debido a la situación del aula dentro del edificio. Por ese motivo, el uso de luminarias regulables con sensor del flujo luminoso no tiene sentido en este caso.

Superficie	68 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	67/52/21 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,76 m	FM	0,88 y 0,88
Puntos UGR	1,20 m (general) 1,30 – 1,70 m (pizarra)	Altura montaje	3,30 m (general) 2,70 m (pizarra)
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	9 pantallas 2 T8 36W	7 pantallas U25M1/LEDN50D 40W	
Iluminación pizarra	3 T8 36W	2 pantallas R751R1/LEDN3635S 26W	
Potencia total	1.470 W	332 W (-77,41%)	

Tabla 9.21. Datos y propuesta de actuación en aula informática 4.S.D.02. <sup>T 9.21</sup>

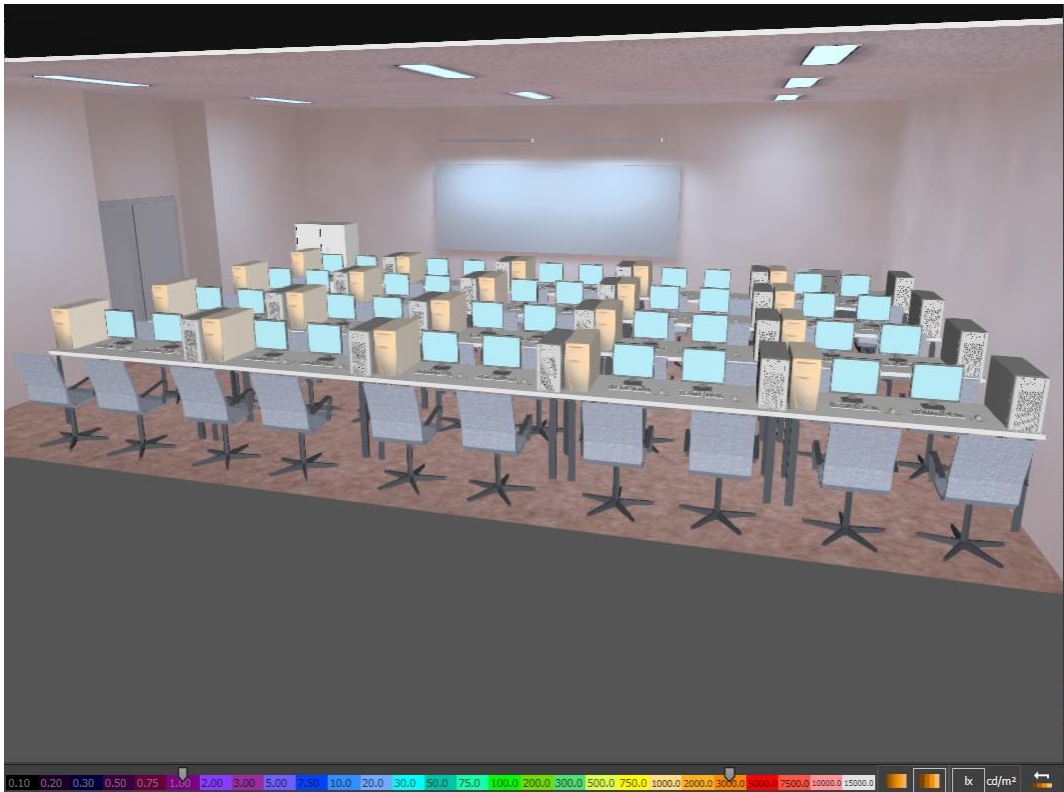


Figura 9.36. Simulación en aula informática 4.S.D.02. <sup>9.36</sup>

<sup>T 9.21</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.36</sup> Fuente: elaboración propia.





9.4.3. Aparcamiento Torres Quevedo

El aparcamiento es considerado como lugar húmedo y la actuación incluye pantallas estancas con IP 66.

Superficie	2387,25 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	70/42,8/5 %	Vida útil	50.000 h L80
Plano trabajo	0 m	FM	0,71
Puntos UGR	1,30 – 1,90 m	Altura montaje	3,00 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	42 T8 36W	65 tubos LED 1500 mm 26W	
Potencia total	2.940 W	1.690 W (-42,52%)	

Tabla 9.23. Datos y propuesta de actuación en aparcamiento Torres Quevedo. <sup>T 9.23</sup>

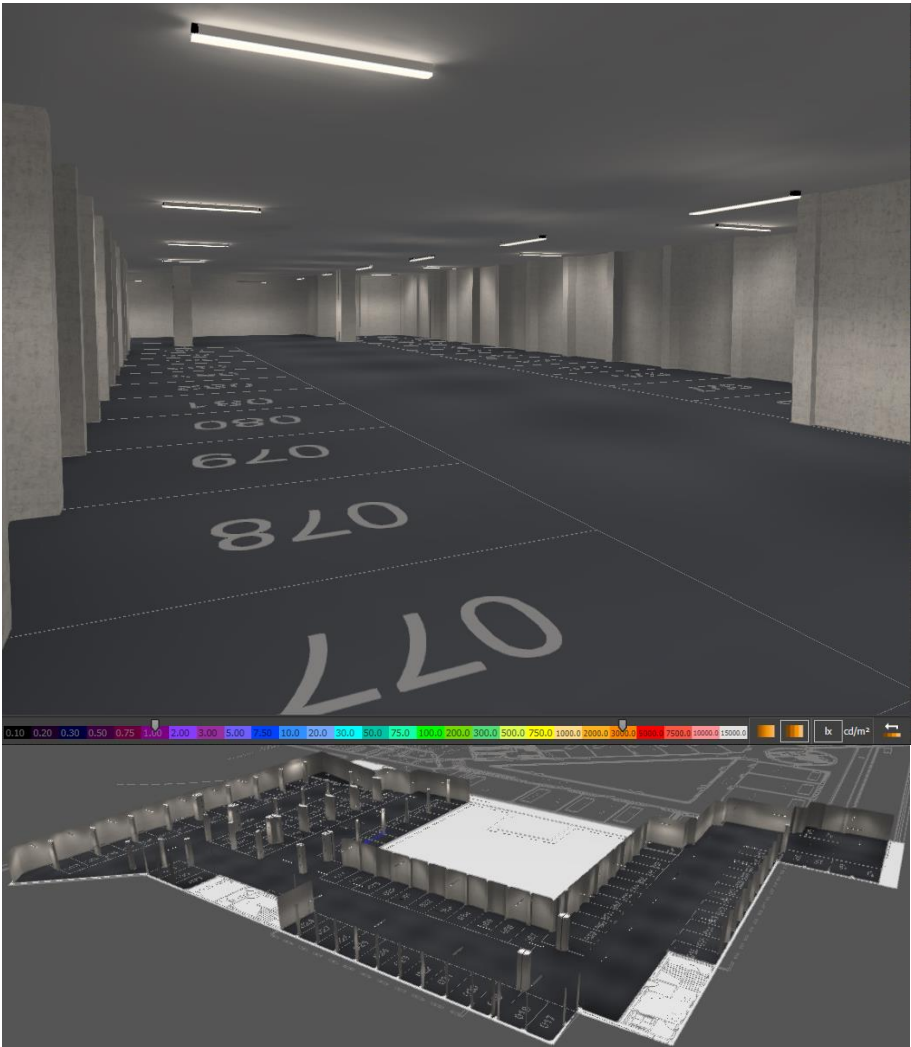


Figura 9.39. Simulación en aparcamiento Torres Quevedo. <sup>9.39</sup>

<sup>T 9.23</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.39</sup> Fuente: elaboración propia.

Suelo aparcamiento		
	75.2 lx	0.47
	UGR 1,30 m	
	< 10	-
	UGR 1,50 m	
	24.9	-
	UGR 1,70 m	
	24.6	-
	UGR 1,90 m	
	24.5	-

Figura 9.40. Resultados simulación en aparcamiento Torres Quevedo. <sup>9.40</sup>

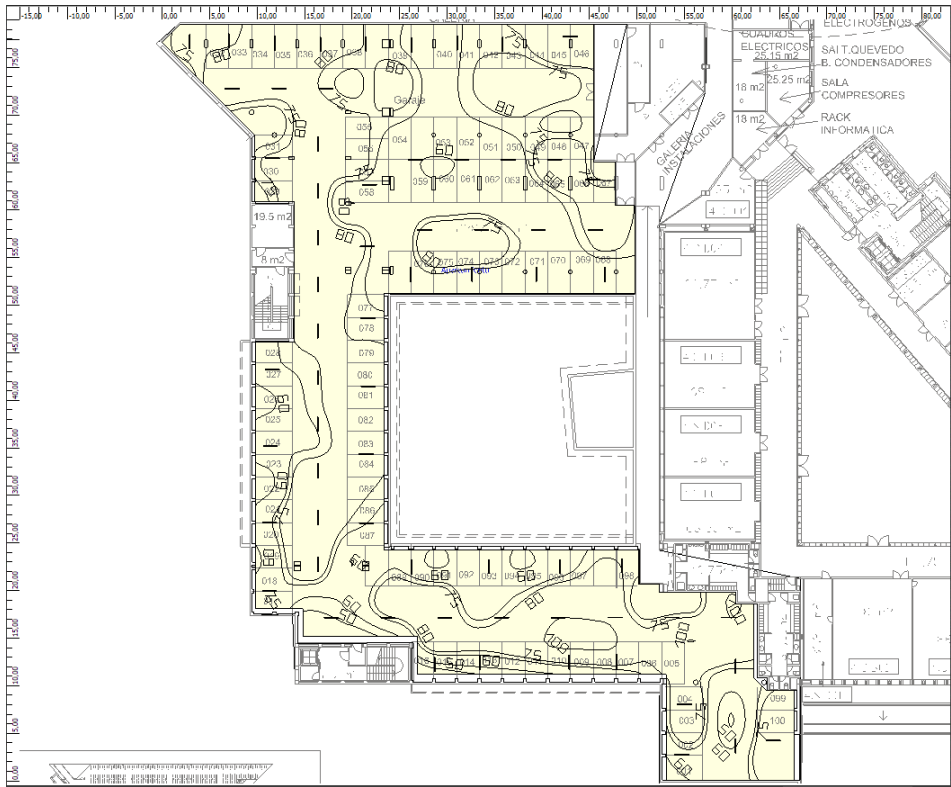


Figura 9.41. Visualización distribución luminarias e isóneas en aparcamiento. <sup>9.41</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	4	0,943
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	5	0,709
UNE-EN 12464-1  (Tablas 5.34.3 y 5.34.4)	$\bar{E}_m$ [lx]	75	75,2
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,40	0,47
	$R_a$	40	> 80

Tabla 9.24. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aparcamiento Torres Quevedo. <sup>T 9.24</sup>

<sup>9.40</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.41</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.24</sup> Fuente: elaboración propia.



9.4.4. Soportal

El soportal tiene contacto con el exterior y la actuación incluye plafones estancos con IP 66. La arquitectura permite el paso de la luz natural, por lo que es atractivo emplear el modelo de luminarias con flujo regulable.

Superficie	450 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	70/61,6/21,7 %	Vida útil	L80B50 50.000 h
Plano trabajo	0 m	FM	0,71
Puntos UGR	1,30 – 1,90 m	Altura montaje	3,60 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	19 plafones 2x22W	12 plafones LED 26W	
Potencia total	1.330 W	312 W (-76,54%)	

Tabla 9.25. Datos y propuesta de actuación en soportal edificio Torres Quevedo. <sup>T 9.25</sup>

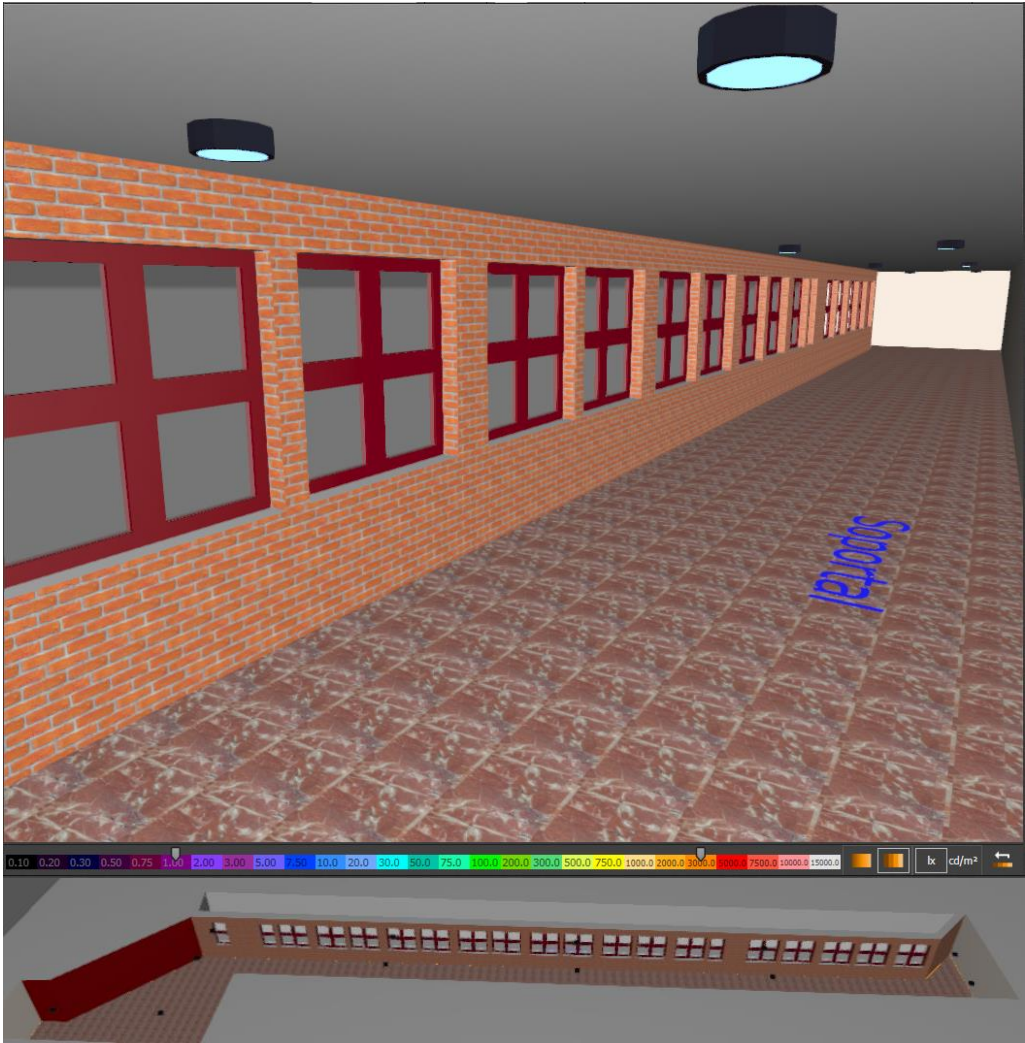


Figura 9.42. Simulación en soportal edificio Torres Quevedo. <sup>9.42</sup>

<sup>T 9.25</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.42</sup> Fuente: elaboración propia.

Soportal		
	28.5 lx	0.41
UGR 1,50 m		
	20.6	-
UGR 1,70 m		
	21.1	-
UGR 1,90 m		
	21.5	-

Figura 9.43. Resultados simulación sin luz diurna en soportal edificio Torres Quevedo.<sup>9.43</sup>

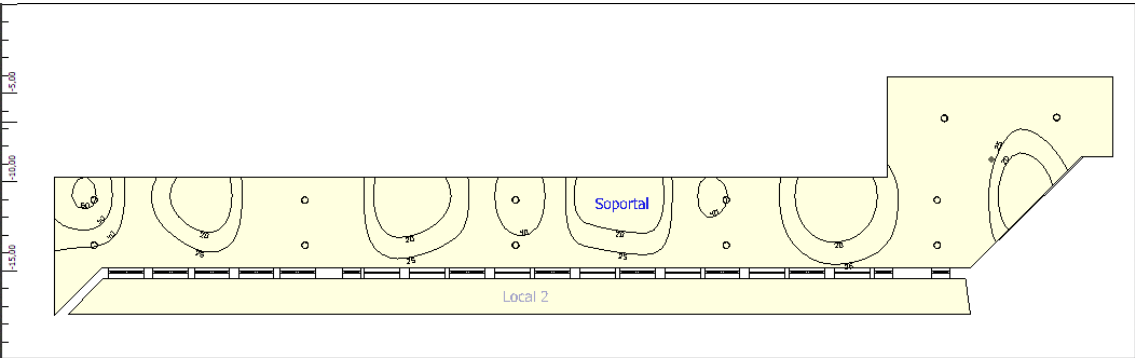


Figura 9.44. Visualización distribución luminarias e isótopos en soportal edificio Torres Quevedo.<sup>9.44</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	6	3,128
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12	0,891
UNE-EN 12464-2 (Tabla 5.1.1)	$\bar{E}_m$ [lx]	25	28,5
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,25	0,41
	$R_a$	20	> 80

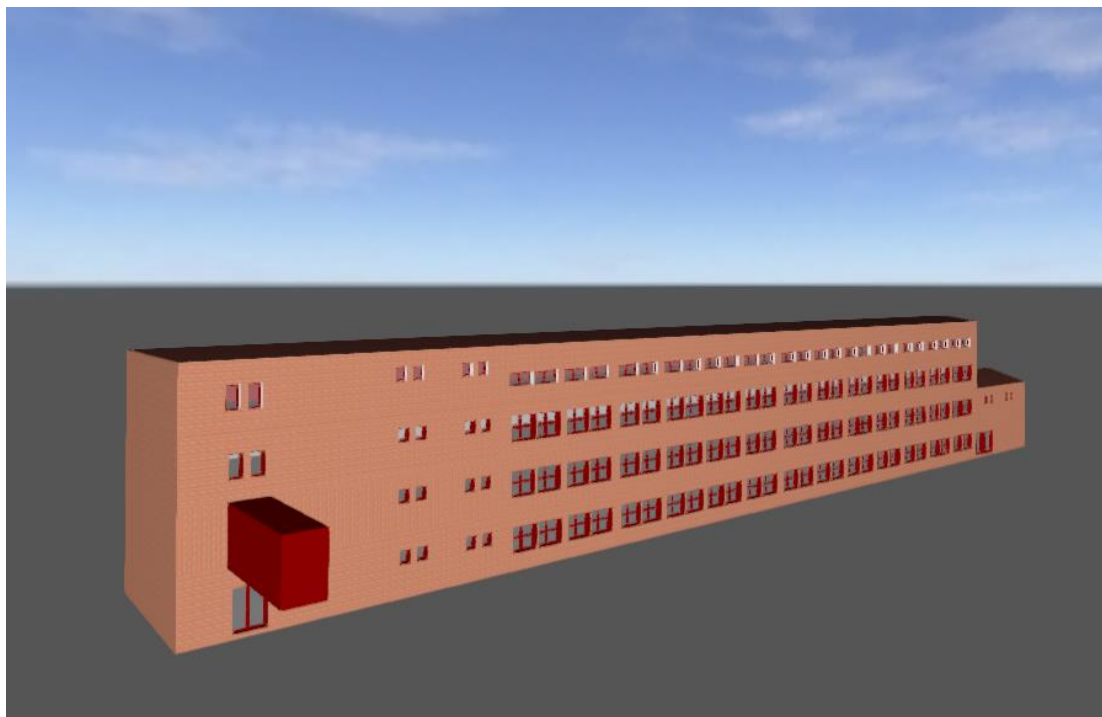
Tabla 9.26. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en soportal ed. Torres Quevedo.<sup>T 9.26</sup>

<sup>9.43</sup> Fuente: elaboración propia.

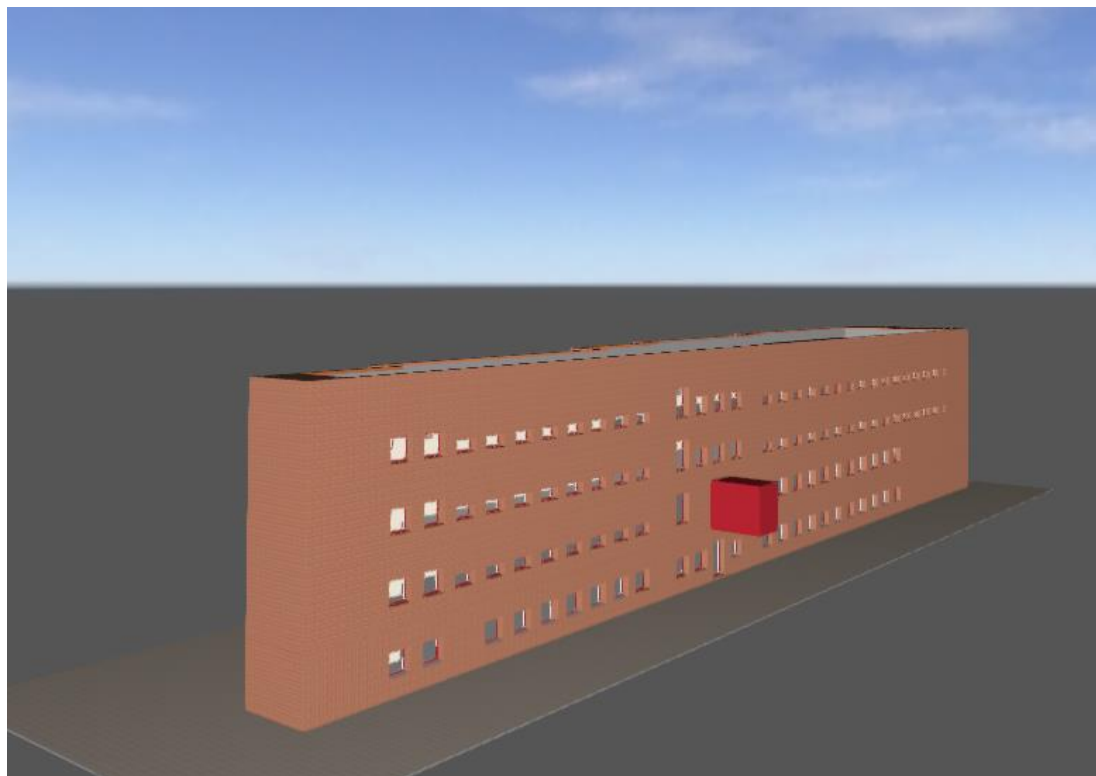
<sup>9.44</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.26</sup> Fuente: elaboración propia.

## 9.5. Edificios Juan Benet I y II



*Figura 9.45. Renderización edificio Juan Benet I.*<sup>9.45</sup>



*Figura 9.46. Renderización edificio Juan Benet II.*<sup>9.46</sup>

<sup>9.45</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.46</sup> Fuente: elaboración propia.

9.5.1. Pasillos segunda planta Juan Benet II

Los pasillos de la segunda planta tienen una zona interior sin ventanas y una zona común con ventanas al exterior. Por ese motivo, solo 6 de las 18 luminarias aplicadas cuentan con control del flujo luminoso.

Superficie	159,98 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	79,6/27,3/21,7 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0 m	FM	0,76
Puntos UGR	1,30 – 1,90 m	Altura montaje	3,30 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	27 downlights 2x13W	6 downlights LED 840 ETDD 01 15W 13 downlights LED 840 ET 01 15W	
Potencia total	1.080 W	285 W (-73,61%)	

Tabla 9.27. Datos y propuesta de actuación en soportal edificio Torres Quevedo. <sup>T 9.27</sup>

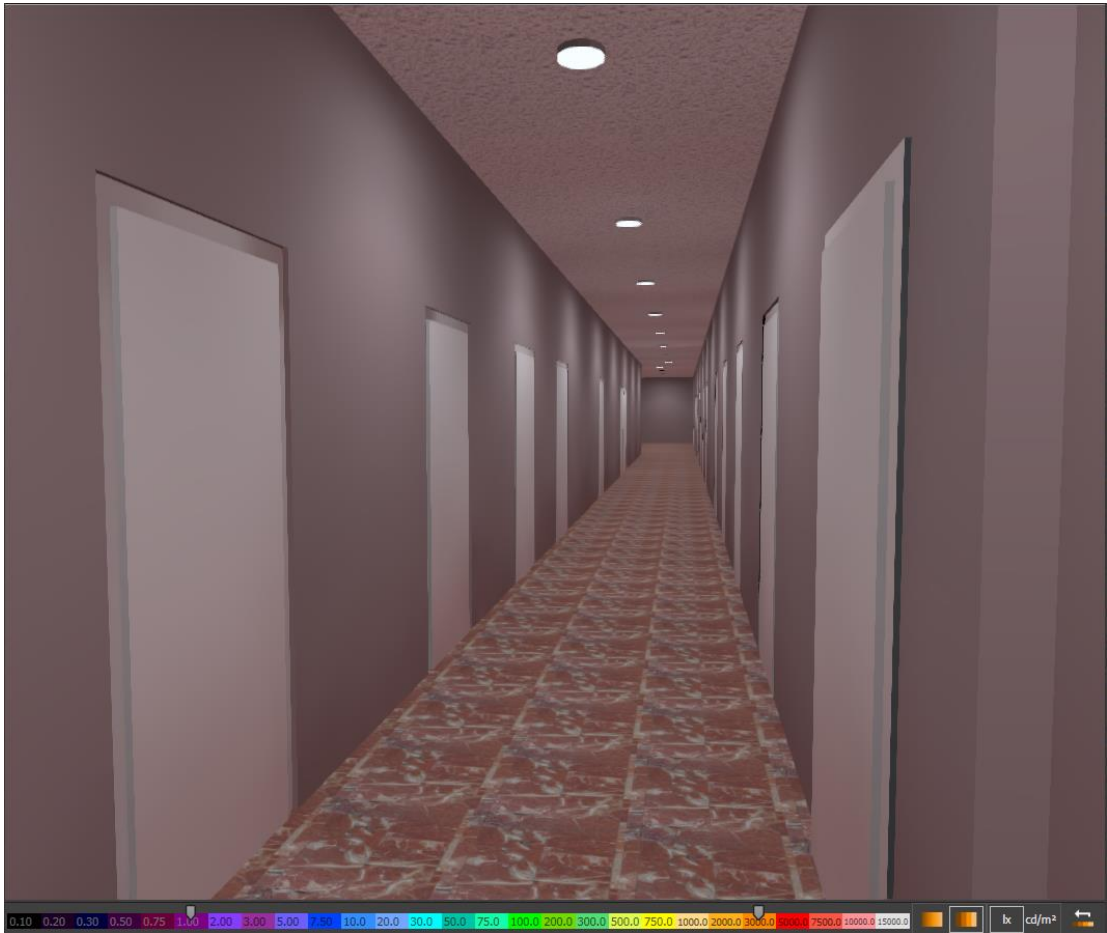


Figura 9.47. Simulación en pasillo interior Juan Benet II. <sup>9.47</sup>

<sup>T 9.27</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.47</sup> Fuente: elaboración propia.













 Suelo				 UGR 1,70 m			
 104 lx			0.88	 23.6			-
 UGR 1,30 m				 UGR 1,80 m			
 23.9			-	 24.8			-
 UGR 1,60 m				 UGR 1,90 m			
 24.4			-	 24.6			-

Figura 9.48. Resultados simulación sin luz diurna en pasillo interior Juan Benet II. <sup>9.48</sup>

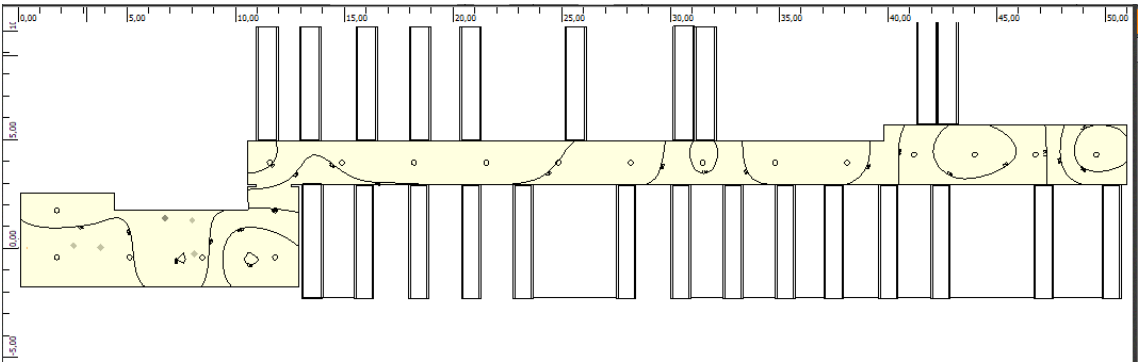


Figura 9.49. Visualización isolíneas en pasillo interior Juan Benet II. <sup>9.49</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	6	1,713
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12	1,781
UNE-EN 12464-1 (Tablas 5.36.17)	$\bar{E}_m$ [lx]	100	104
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,40	0,88
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.28. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillo interior Juan Benet II. <sup>T 9.28</sup>

<sup>9.48</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.49</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>T 9.28</sup> Fuente: elaboración propia.

9.5.2. Aseo Juan Benet I

Los aseos cuentan con una o dos ventanas que captan la luz natural, por lo que la mayoría de luminarias tendrán control del flujo luminoso. Las alturas de planos de cálculo son muy variadas debido a las diferentes zonas de uso de los aseos.

Superficie	18,5 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	72,6/57,2/21,6 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0,6 – 1,00 m	FM	0,76
Puntos UGR	1,30 – 1,90 m	Altura montaje	3,30 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	1 T8 36w 7 downlights 2x22W	5 downlights LED 840 ETDD 01 15W 1 downlights LED 840 ET 01 15W	
Potencia total	560 W	90 W (-83,93%)	

Tabla 9.29. Datos y propuesta de actuación en aseo Juan Benet I. <sup>T 9.29</sup>



Figura 9.50. Simulación en aseo Juan Benet I. <sup>9.50</sup>

<sup>T 9.29</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.50</sup> Fuente: elaboración propia.



Lavabo			Cabina 1			UGR 1,30 m		
	224 lx	0.80		246 lx	0.59		20.6	-
	302 lx	0.47	Cabina 2				UGR 1,40 m	-
Urinario				223 lx	0.61		21.8	-
	239 lx	0.68	Cabina 3				UGR 1,50 m	-
				243 lx	0.60		UGR 1,60 m	-
			Cabina 4				UGR 1,90 m	-
				231 lx	0.64		25.1	-
							UGR 1,90 m	-
							21.5	-

Figura 9.51. Resultados simulación sin luz diurna en aseo Juan Benet I. <sup>9.51</sup>

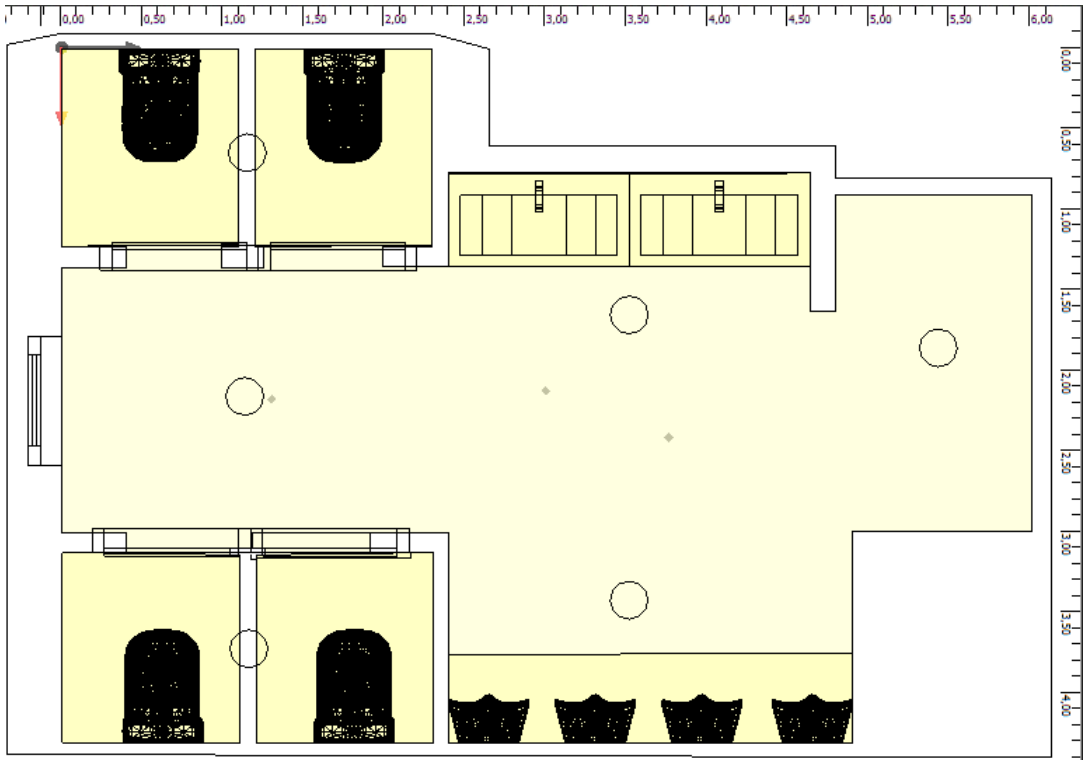


Figura 9.52. Visualización distribución luminarias e isóneas en aseo Juan Benet I. <sup>9.52</sup>

Exigencias			Resultados
DB HE 3	VEEI límite [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.1)	6	1,782
	P máx. instalada [W/m <sup>2</sup> ] (Tabla 2.2)	12	4,865
UNE-EN 12464-1 (Tablas 5.2.4)	$\bar{E}_m$ [lx]	200	273
	$UGR_L$	25	< 25
	$U_0$	0,40	0,48
	$R_a$	80	> 80

Tabla 9.30. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aseo Juan Benet I. <sup>T 9.30</sup>

<sup>9.51</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.52</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.30</sup> Fuente: elaboración propia.

9.5.3. Tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I

Los descansillos y hall de ascensores suelen tener ventanas y las luminarias colocadas en esa zona tienen control del flujo luminoso y las escaleras normalmente no tienen ventanas, por lo que se emplean luminarias sin control del flujo.

Superficie	35,6 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Índices de reflexión	70/52,9/21,7 %	Vida útil	50.000 h
Plano trabajo	0 m constantes	FM	0,76
Puntos UGR	1,30 – 1,90 m constantes	Altura montaje	4,00 m constantes
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	3 fluorescentes 16W 2 downlights 2x22W	4 downlights LED 840 ETDD 01 15W 6 downlights LED 840 ET 01 15W	
Potencia total	200 W	150 W (-25,00%)	

Tabla 9.31. Datos y propuesta de actuación en tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I. <sup>T 9.31</sup>



Figura 9.53. Simulación en tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I. <sup>9.53</sup>

<sup>T 9.31</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.53</sup> Fuente: elaboración propia.





## 9.6. Alumbrado exterior



*Figura 9.56. Renderización campus EPS UC3M Leganés.*<sup>9.56</sup>

### 9.6.1. Parque Sabatini

El edificio Sabatini tiene una iluminación en su perímetro y su parque ilumina los diferentes caminos que tiene. Estas superficies se incluyen en la clase E1 con flujo peatonal normal, debiendo cumplir requisitos fotométricos S3.

<b>E1</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 5)	Tipo de vía	Espacios peatonales
	Flujo de tráfico de peatones	Normal
	Clase de alumbrado	S2/S3/S4
<b>S3</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 8)	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	$\bar{E}_m$ [lx]	7,5
	$E_{min}$ [lx]	1,5

*Tabla 9.33. Características superficie y exigencias a cumplir en parque Sabatini.*<sup>T 9.33</sup>

Superficie	2.200 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Plano trabajo	0 m	Vida útil	100.000 h
		FM	0,80
		Altura montaje	3,60 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	24 halógenos 150W	26 LED 55W	
Potencia total	7.200 W	1.430 W (-80,14%)	

*Tabla 9.34. Datos y propuesta de actuación en parque Sabatini.*<sup>T 9.34</sup>

<sup>9.56</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.33</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.34</sup> Fuente: elaboración propia.

Las actuaciones permiten suprimir cuatro de las ocho farolas que rodean la fuente central y la incorporación de seis nuevas farolas en medio de los caminos de acceso más largos, obteniéndose una mayor uniformidad. Las columnas de las farolas sustituidas podrán ser usadas de nuevo junto a los nuevos báculos, sin embargo, la nueva instalación requerirá de su correspondiente obra.

Los datos obtenidos en la simulación sin luz diurna son los siguientes:

Parque Sabatini	
	23.6 lx
Superficie de cálculo (Intensidad lumínica perpendicular)	
	Real
Media	23.6 lx
Min	1.88 lx
Max	71.1 lx

Figura 9.57. Resultados simulación en parque Sabatini. <sup>6.57</sup>

S3 ITC EA-02 (Tabla 8)	Modelo	Stela+ gen2 round
	Altura de montaje	3,60 m
	Vida útil	100.000 h
	FM	0,80
	Exigencias	Resultados
	$\bar{E}_m$ [lx]	23,6
	$E_{mín}$ [lx]	1,88

Tabla 9.35. Características alumbrado y resultados obtenidos en parque Sabatini. <sup>T 9.35</sup>

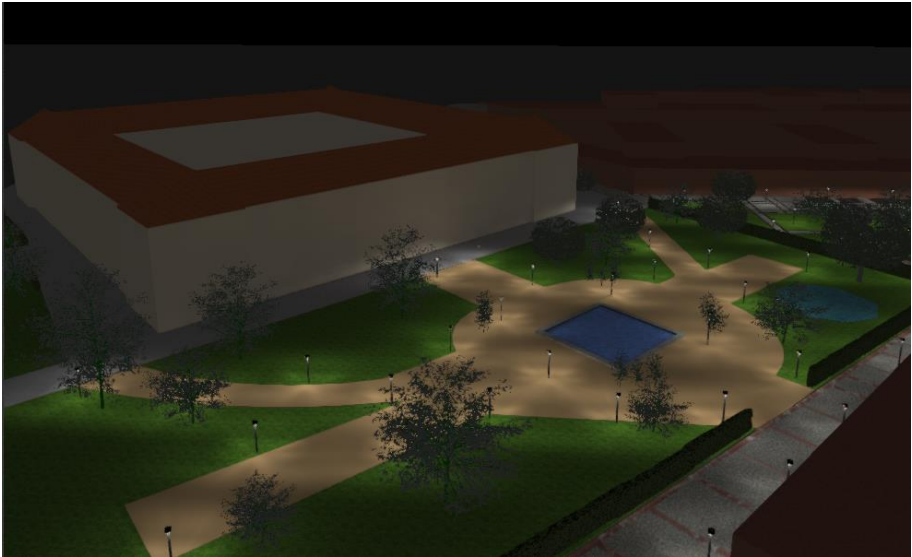


Figura 9.58. Simulación superficie parque Sabatini. <sup>9.58</sup>

<sup>6.57</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>T 9.35</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.58</sup> Fuente: elaboración propia.

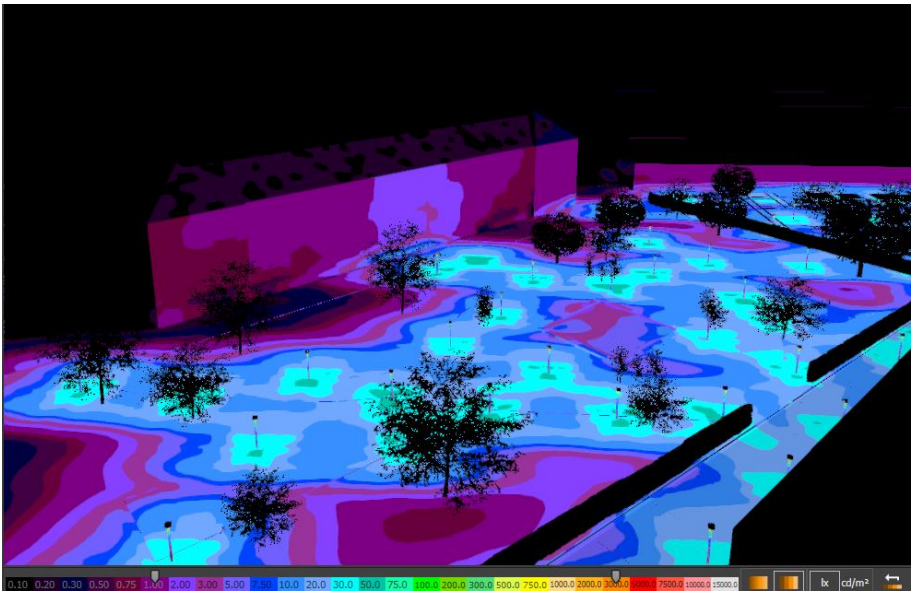


Figura 9.59. Procesado de colores falsos en parque Sabatini. <sup>9.59</sup>

ITC EA-01 (Tabla 2)	Iluminancia media en servicio E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética mínima		Resultado
	≥ 20		9		36,31
ITC EA-01 (Tabla 3)	Iluminancia media en servicio proyectada E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética de referencia		Resultado
	≥ 20		13		2,79
ITC EA-01 (Tabla 4)	Índice consumo energético		Índice de eficiencia energética		Resultado
	ICE<0,91	0,358	I <sub>ε</sub> > 1,1	2,79	A

Tabla 9.36. Cálculos calificación energética alumbrado parque Sabatini. <sup>T 9.36</sup>

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} = \frac{2.200 \cdot 23,6}{26 \cdot 55} = 36,31$$
$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} = \frac{36,31}{13} = 2,79$$
$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon} = \frac{1}{2,79} = 0,358$$

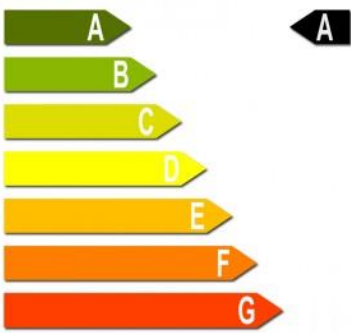


Figura 9.60. Etiqueta energética alumbrado parque Sabatini. <sup>9.60</sup>

<sup>9.59</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.36</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.60</sup> Fuente: [gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico\\_certificacion-min.png](http://gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico_certificacion-min.png)

### 9.6.2. Parque y calle peatonal

Estas superficies se incluyen en la clase E1 con flujo peatonal normal, debiendo cumplir requisitos fotométricos S3.

<b>E1</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 5)	Tipo de vía	Espacios peatonales
	Flujo de tráfico de peatones	Normal
	Clase de alumbrado	S2/S3/S4
<b>S3</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 8)	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	$\bar{E}_m$ [lx]	7,5
	$E_{min}$ [lx]	1,5

**Tabla 9.37. Características superficie y exigencias a cumplir en parque y calle peatonal.** <sup>9.37</sup>

Superficie	9.700 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Plano trabajo	0 m	Vida útil	100.000 h
		FM	0,80
		Altura montaje	4,80 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	47 halógenos 150W	45 LED 55W 2 LED 11W solar	
Potencia total	14.100 W	2.475 W (-82,45%)	

**Tabla 9.38. Datos y propuesta de actuación en parque y calle peatonal.** <sup>T 9.38</sup>

Las actuaciones requieren la sustitución de las actuales 47 farolas por 2 farolas solares y 45 báculos LED nuevos. La incorporación de las dos farolas solares se realizará teniendo en cuenta la situación de los árboles y edificios y la orientación de los paneles solares para captar la luz solar. La ubicación elegida se sitúa en plenos centro del campus, junto a las banderas, destacando aún más la presencia de esta nueva tecnología en la EPS.



**Figura 9.61. Ubicación farolas solares.** <sup>9.61</sup>

A diferencia del caso anterior, las farolas solares solo requieren la zapata de conexión, lo cual supone otro ahorro extra en comparación con las actuales farolas.

<sup>9.37</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.38</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.61</sup> Fuente: elaboración propia.

En general, gran parte de las farolas instaladas actualmente tienen conflictos con la vegetación existente. En vez de reubicar algunas farolas para alejarlas de la vegetación, sería recomendable mejorar y aumentar el mantenimiento de las zonas verdes para aumentar la eficacia de las farolas. Indistintamente, al cambiar el báculo de las farolas y su emisión directa, se evita en gran parte este problema.

Los datos obtenidos en la simulación sin luz diurna son los siguientes:


Calle peatonal y parque central	
	20.5 lx
Superficie de cálculo (Intensidad luminica perpendicular)	
	Real
Media	20.5 lx
Min	1.59 lx
Max	50.8 lx

Figura 9.62. Resultados simulación en parque y calle peatonal. <sup>9.62</sup>

S3 ITC EA-02 (Tabla 8)	Modelos	Stela+ gen2 round COVIMED 517 ECOLOGY
	Altura de montaje	3,60 m y 4,70 m
	Vida útil	100.000 h
	FM	0,80
	Exigencias	Resultados
	$\bar{E}_m$ [lx]	20,5
	$E_{min}$ [lx]	1,59

Tabla 9.39. Características alumbrado y resultados obtenidos en parque y calle peatonal. <sup>T 9.39</sup>

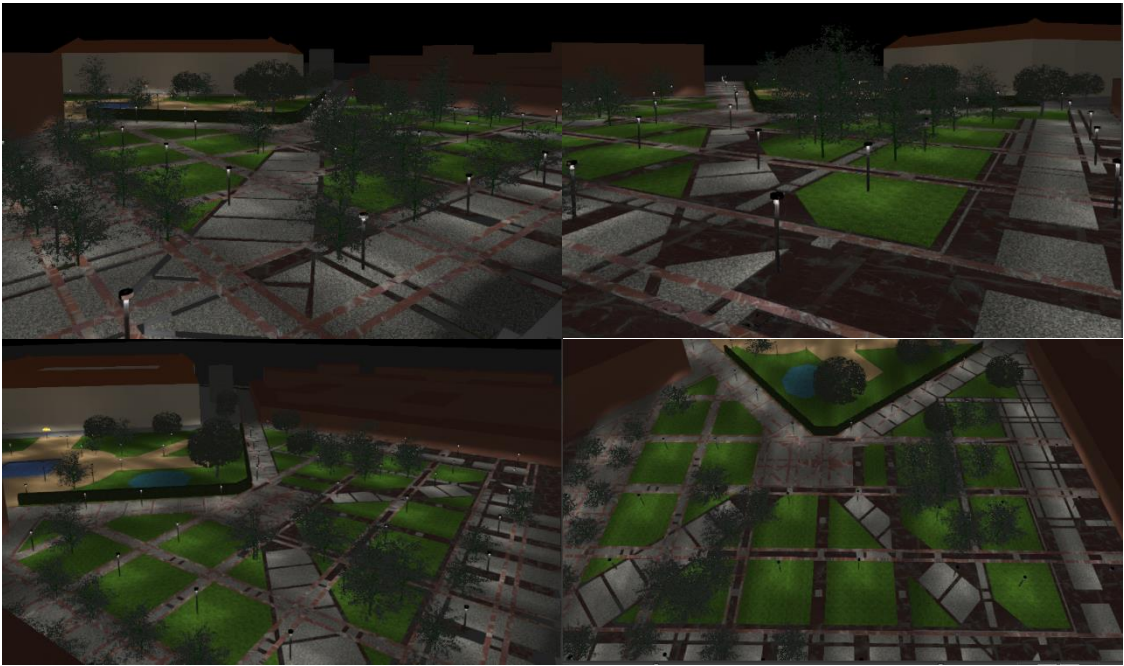


Figura 9.63. Simulación superficie parque y calle peatonal. <sup>9.63</sup>

<sup>9.62</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>T 9.39</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.63</sup> Fuente: elaboración propia.



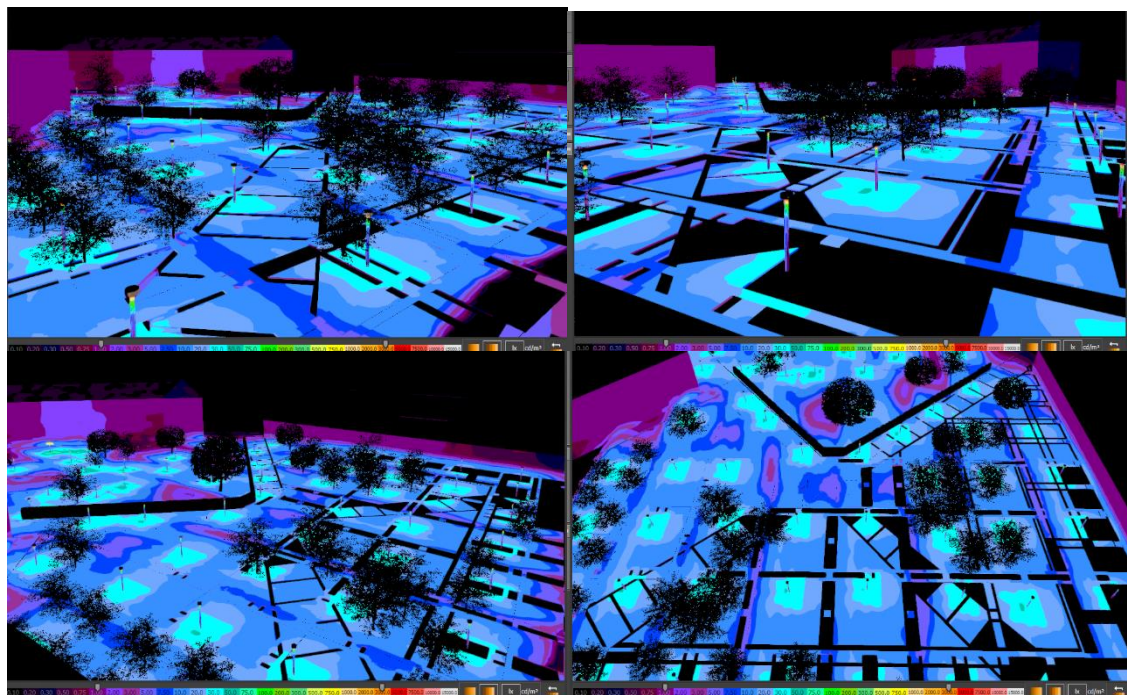


Figura 9.64. Procesado de colores falsos en parque y calle peatonal. <sup>9.64</sup>

ITC EA-01 (Tabla 2)	Iluminancia media en servicio E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética mínima		Resultado
	≥ 20		9		80,34
ITC EA-01 (Tabla 3)	Iluminancia media en servicio proyectada E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética de referencia		Resultado
	≥ 20		13		6,18
ITC EA-01 (Tabla 4)	Índice consumo energético		Índice de eficiencia energética		Resultado
	ICE<0,91	0,162	I <sub>ε</sub> > 1,1	6,18	A

Tabla 9.40. Cálculos calificación energética alumbrado parque y calle peatonal. <sup>T 9.40</sup>

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} = \frac{9.700 \cdot 20,5}{(45 \cdot 55)} = 80,34$$

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} = \frac{80,34}{13} = 6,18$$

$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon} = \frac{1}{6,18} = 0,162$$

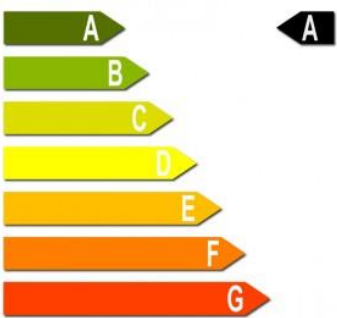


Figura 9.65. Etiqueta energética alumbrado parque y calle peatonal. <sup>9.65</sup>

<sup>9.64</sup> Fuente: [gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico\\_certificacion-min.png](http://gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico_certificacion-min.png)

<sup>T 9.40</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.65</sup> Fuente: [gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico\\_certificacion-min.png](http://gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico_certificacion-min.png)

### 9.6.3. Accesos aparcamientos Auditorio y Torres Quevedo

Los accesos a los aparcamientos son zonas transitables también por peatones. Es importante ajustar el alumbrado a las necesidades, incluidas la clase D3-D4 con flujo peatonal normal, debiendo cumplir requisitos fotométricos S2.

<b>D3-D4</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 4)	Tipo de vía	Espacios peatonales
	Flujo de tráfico de peatones	Normal
	Clase de alumbrado	S2/S3/S4
<b>S2</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 8)	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	$\bar{E}_m$ [lx]	10
	$E_{\min}$ [lx]	3

**Tabla 9.41. Características superficie y exigencias a cumplir en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo.** <sup>T 9.41</sup>

Superficie	3.950 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Plano trabajo	0 m	Vida útil	100.000 h
		FM	0,80
		Altura montaje	3,60 m y 4,70 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	26 halógenos 150W	16 LED 55W 22 LED 37W	
Potencia total	7.800 W	2.090 W (-73,21%)	

**Tabla 9.42. Datos y propuesta de actuación en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo.** <sup>T 9.42</sup>

La actuación propone la sustitución de las 7 farolas del acceso al aparcamiento del Auditorio por 7 dobles báculos viales Stela long que permitan alumbrar la vía peatonal y el carril de los vehículos. En el acceso al aparcamiento del edificio Torres Quevedo se eliminarán las 3 farolas actuales por 8 farolas viales Stela long que iluminarán el carril de acceso para vehículos y peatones. Las restantes 16 farolas, encargadas del alumbrado de los caminos exteriores del edificio, serán sustituidas por 16 báculos Stela+ gen2 round.

Las sustituciones requerirán una adecuación de las actuales columnas y una instalación completa dedicada al montaje de la estructura y la instalación eléctrica de las nuevas farolas ubicadas en el acceso al aparcamiento del edificio Torres Quevedo.

Al igual que en el resto de casos, tras la adecuación del poste al nuevo báculo, toda la farola será tratada con pintura oxiron antiadherente.

<sup>T 9.41</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.42</sup> Fuente: elaboración propia.



Los datos obtenidos en la simulación sin luz diurna son los siguientes:

Acceso aparcamiento Auditorio			Acceso aparcamiento TQ		
29.2 lx			54.5 lx		
Superficie de cálculo (Intensidad lumínica perpendicular)			Superficie de cálculo (Intensidad lumínica perpendicular)		
Real			Real		
Media	29.2 lx		Media	54.5 lx	
Min	7.15 lx		Min	25.5 lx	
Max	74.8 lx		Max	73.6 lx	

Figura 9.66. Resultados simulación en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo.<sup>9.66</sup>

S3 ITC EA-02 (Tabla 8)	Modelo	Stela+ gen2 round y Stela long
	Altura de montaje	3,60 m y 4,70 m
	Vida útil	100.000 h
	FM	0,80
	Exigencias	Resultados
	$\bar{E}_m$ [lx]	29,2
	$E_{mín}$ [lx]	7,15

Tabla 9.43. Características alumbrado y resultados obtenidos en accesos aparcamiento AUD y TQ.<sup>T 9.43</sup>

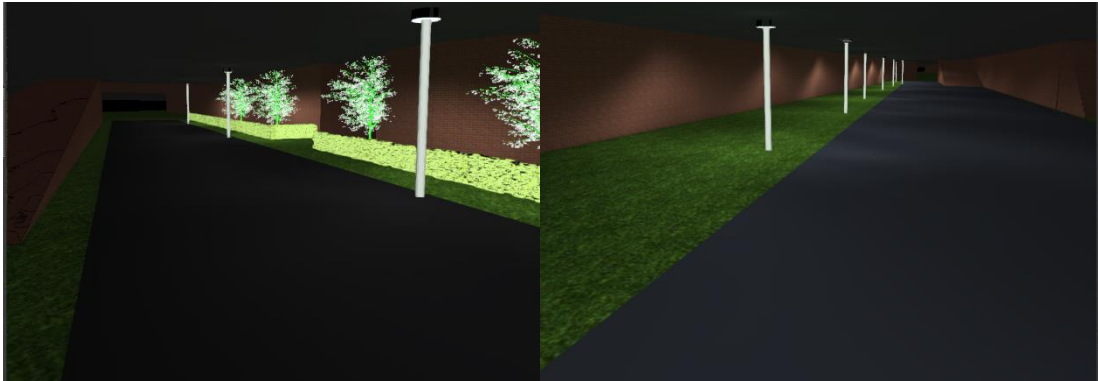


Figura 9.67. Simulación superficie accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo.<sup>9.67</sup>

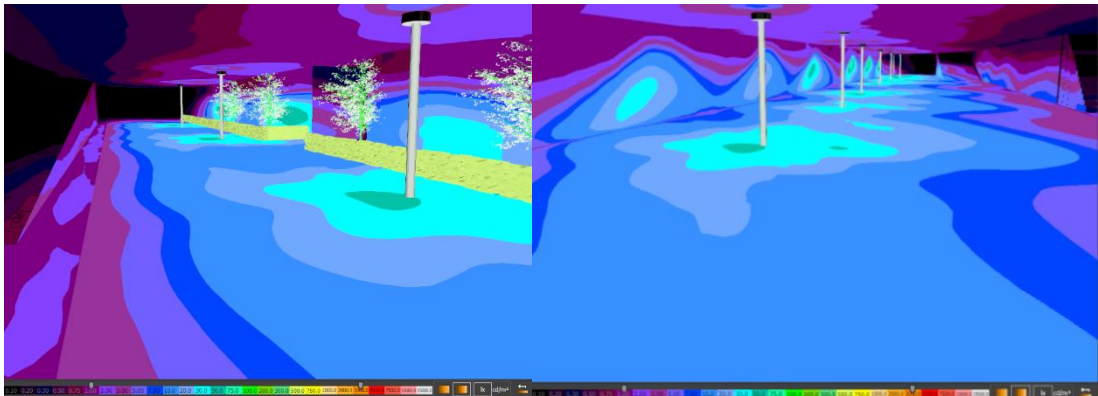


Figura 9.68. Procesado de colores falsos en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo.<sup>9.68</sup>

<sup>9.66</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>T 9.43</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.67</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.68</sup> Fuente: elaboración propia.

ITC EA-01 (Tabla 2)	Iluminancia media en servicio E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética mínima		Resultado
	≥ 20		9		68,09
ITC EA-01 (Tabla 3)	Iluminancia media en servicio proyectada E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética de referencia		Resultado
	≥ 20		13		5,24
ITC EA-01 (Tabla 4)	Índice consumo energético		Índice de eficiencia energética		Resultado
	ICE<0,91	0,191	I <sub>ε</sub> > 1,1	5,24	A

Tabla 9.44. Cálculos calificación energética alumbrado accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. <sup>T 9.44</sup>

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} = \frac{3.950 \cdot 29,2}{(16 \cdot 55) + (22 \cdot 37)} = 68,09$$

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} = \frac{68,09}{13} = 5,24$$

$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon} = \frac{1}{5,24} = 0,191$$

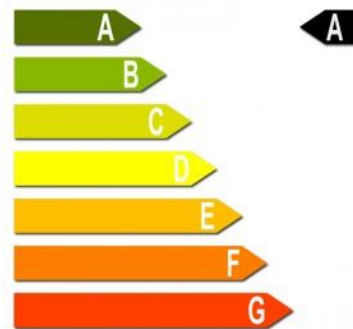


Figura 9.69. Etiqueta energética alumbrado accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. <sup>9.69</sup>

<sup>T 9.44</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.69</sup> Fuente: elaboración propia.

### 9.6.4. Acceso talleres Betancourt

Los accesos a talleres son zonas transitables por automóviles a baja velocidad y peatones. Estas zonas están incluidas en la clase D3-D4 con flujo peatonal normal, debiendo cumplir requisitos fotométricos S3.

<b>D3-D4</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 4)	Tipo de vía	Espacios peatonales
	Flujo de tráfico de peatones	Normal
	Clase de alumbrado	S2/S3/S4
<b>S3</b> <b>ITC EA-02</b> (Tabla 8)	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	$\bar{E}_m$ [lx]	7,5
	$E_{mín}$ [lx]	1,5

**Tabla 9.45. Características superficie y exigencias a cumplir en acceso talleres Betancourt.** <sup>T 9.45</sup>

Superficie	1.400 m <sup>2</sup>	Luminaria	
Plano trabajo	0 m	Vida útil	50.000 h
		FM	0,80
		Altura montaje	4,80 m
	Estado actual	Propuesta de actuación	
Iluminación general	9 halógenos 150W 20 plafones 2x22W	20 LED 37W	
Potencia total	4.100 W	740 W (-81,95%)	

**Tabla 9.46. Datos y propuesta de actuación en acceso talleres Betancourt.** <sup>T 9.46</sup>

La actuación supone la sustitución de las actuales farolas por el nuevo báculo LED y la retirada de todos los plafones del edificio Juan Benet fase I y II, ya que, tanto a un lado como a otro, se añadirán otros 12 báculos LED junto a sus respectivos brazos de apoyo.

Las nuevas farolas situarán su foco de luz a 4,70 m de altura e inclinación de 8° a una separación de 1,15 m de la pared.

De esta manera se alcanzarán una iluminación uniforme y de calidad.

<sup>T 9.45</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.46</sup> Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos en la simulación sin luz diurna son los siguientes:

Superficie de cálculo 1		
	29.7 lx	0.43
Superficie de cálculo (Intensidad lumínica perpendicular)		
	Real	Nominal
Media	29.7 lx	-
Min	12.9 lx	-
Max	46.9 lx	-
Mín./medio	0.43	-
Mín./máx.	0.28	-
Parámetros		
Altura	0.00 m	

Figura 9.70. Resultados simulación en acceso talleres Betancourt. <sup>9.70</sup>

S3 ITC EA-02 (Tabla 8)	Modelo	OWL CL.I 3300 NW GR.
	Altura de montaje	4,70 m
	Vida útil	50.000 h
	FM	0,80
	Exigencias	Resultados
	$\bar{E}_m$ [lx]	29,7
	$E_{mín}$ [lx]	12,9

Tabla 9.47. Características alumbrado y resultados obtenidos en acceso talleres Betancourt. <sup>9.47</sup>

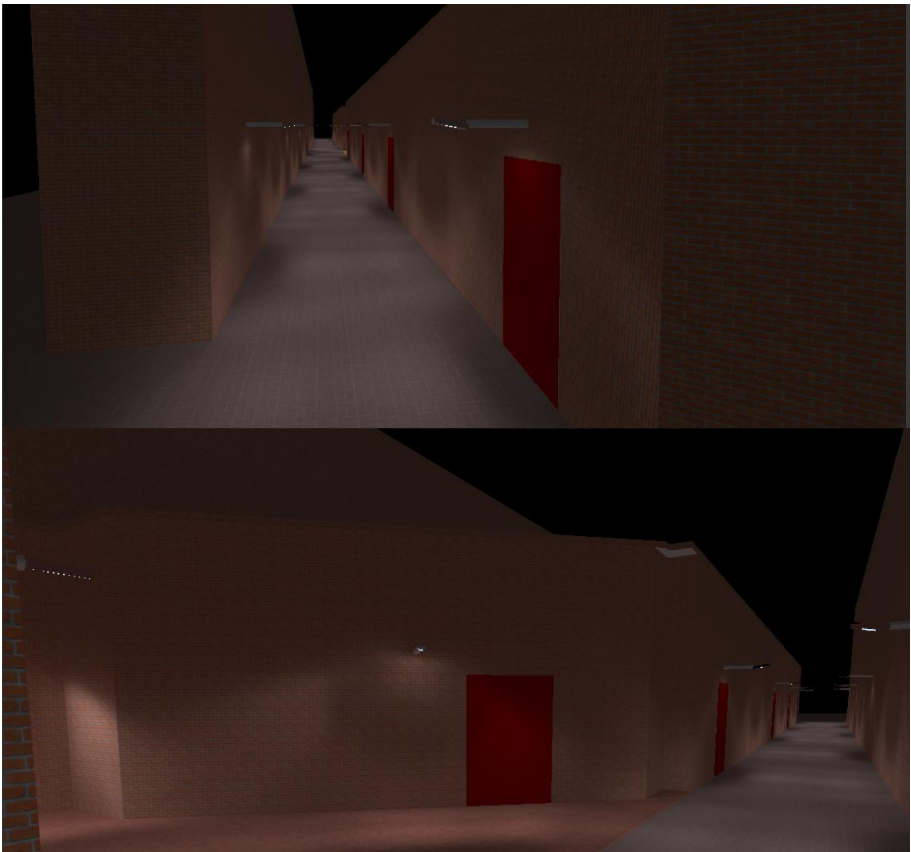


Figura 9.71. Simulación superficie acceso talleres Betancourt. <sup>9.71</sup>

<sup>9.70</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.47</sup> Fuente: elaboración propia.  
<sup>9.71</sup> Fuente: elaboración propia.

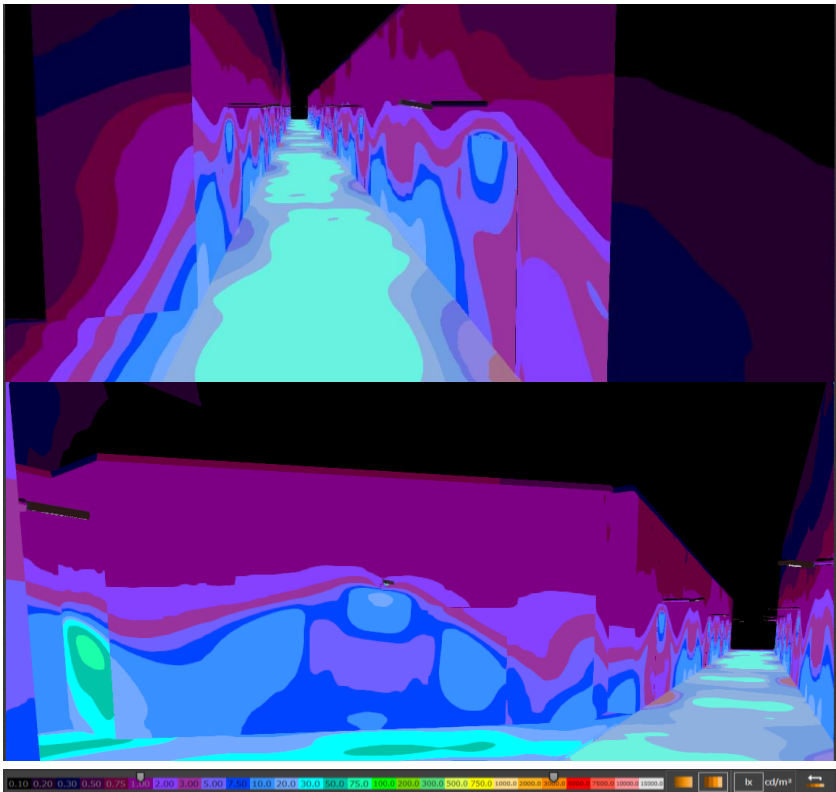


Figura 9.72. Procesado de colores falsos en acceso talleres Betancourt.<sup>9.72</sup>

ITC EA-01 (Tabla 2)	Iluminancia media en servicio E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética mínima		Resultado
	≥ 20		9		56,19
ITC EA-01 (Tabla 3)	Iluminancia media en servicio proyectada E <sub>m</sub> (lux)		Eficiencia energética de referencia		Resultado
	≥ 20		13		4,32
ITC EA-01 (Tabla 4)	Índice consumo energético		Índice de eficiencia energética		Resultado
	ICE<0,91	0,231	I <sub>ε</sub> > 1,1	4,32	A

Tabla 9.48. Cálculos calificación energética alumbrado acceso talleres Betancourt.<sup>T 9.48</sup>

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} = \frac{1.400 \cdot 29,7}{20 \cdot 37} = 56,19$$

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} = \frac{56,19}{13} = 4,32$$

$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon} = \frac{1}{4,32} = 0,231$$

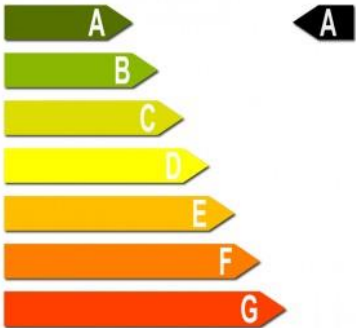


Figura 9.73. Etiqueta energética alumbrado acceso talleres Betancourt.<sup>9.73</sup>

<sup>9.72</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>T 9.48</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>9.73</sup> Fuente: gercoastur.com/nueva/wp-content/uploads/2016/09/grafico\_certificacion-min.png

## **Capítulo 10**

# **Comparativa instalaciones actuales y propuestas**

En este capítulo se enumeran en tablas todas las luminarias necesarias para llevar acabo la propuesta de proyecto. Con todos los datos se realiza una comparativa directa de la instalación actual y la propuesta, visualizándose resultados a nivel energético y económico.

10.1. Edificio Agustín Betancourt

	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
Zona	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Aulas	444	T8 36W/865 G13	31,08	41,96	124	Pantalla 40W/840	5,79	7,82
					32	Pantalla 26W/840		
Aulas informática	213	T8 36W/865 G13	14,91	26,83	51	Pantalla 40W/840	2,40	4,33
					14	Pantalla 26W/840		
Laboratorios	1.515	T8 36W/865 G13	106,05	143,17	427	Pantalla 40W/840	21,41	28,91
					28	Pantalla 26W/840		
					90	Pantalla 40W susp.		
Despachos	1.532	T8 36W/865 G13	107,24	144,77	886	Pantalla 34W/840	30,12	40,67
						Pantalla 38W/840		
Administración	144	T8 36W/865 G13	12,04	16,25	58	Pantalla 34W/840 10 sensores	1,97	2,66
	56	T8 18W/865 G13						
Pasillos	636	T8 36W/865 G13	46,55	83,79	236	Pantalla 34W/840 30 sensores	8,02	14,44
	34	22W/825 E27						
	48	9W/827/2P 1CT						
Hall ascensores y escaleras	324	9W/827/2P 1CT	5,67	12,76	192	Downlight 15W	2,88	6,48
Aseos	16	T8 36W/865 G13	10,08	18,14	96	Downlight 15W 16 Sensores	1,44	2,60
	128	R63 46W E27						
C. limpieza y vestuarios	17	T8 36W/865 G13	2,24	4,03	24	Downlight 15W	0,36	0,65
	15	R63 46W E27						
Aparcamiento	170	T8 36W/865 G13	11,90	26,78	155	Tubo 26W/840 9 sensores	4,03	9,07
Soportales	64	22W/825 E27	2,24	4,03	33	Plafón 26W/840	0,86	1,54
Talleres	74	400W/730 E40	44,40	79,92	73	Lámpara 133W/840	9,71	17,48
TOTAL			394,40	602,44			89,00	136,63

Tabla 10.1. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Agustín Betancourt. <sup>T 10.1</sup>

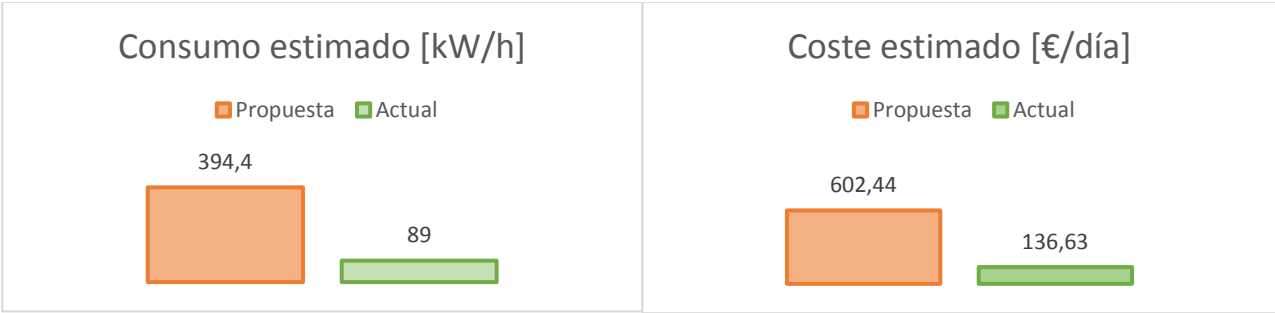


Figura 10.1. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Betancourt. <sup>10.1</sup>

<sup>T 10.1</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.1</sup> Fuente: elaboración propia.

## 10.2. Edificio Sabatini

	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
Zona	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Aulas	858	T8 36W/865 G13	60,90	82,215	192	Pantalla 40W/840	9,24	12,47
	24	T8 18W/865 G13			60	Pantalla 26W/840		
Aulas informática	128	T8 36W/865 G13	8,96	16,13	48	Pantalla 40W/840	1,92	3,46
Laboratorios	176	T8 36W/865 G13	12,32	16,63	3	Pantalla 40W/840	0,12	0,162
Despachos	748	T8 36W/865 G13	54,32	73,33	360	Pantalla 40W/840	14,40	19,44
	56	T8 18W/865 G13						
Administración	546	T8 36W/865 G13	38,36	51,79	237	Pantalla 40W/840	9,48	12,80
	4	T8 18W/865 G13						
Pasillos	173	T8 36W/865 G13	36,12	65,02	180	Pantalla 34W/840	8,15	14,66
	136	T8 18W/865 G13			135	Downlight 15W 61 sensores		
	550	22W/825 E27						
Hall ascensores y escaleras	144	22W/825 E27	5,04	9,07	176	Downlight 15W	2,64	5,94
Aseos	448	T8 18W/865 G13	23,94	43,09	268	Downlight 15W 28 sensores	2,52	4,54
	118	R63 46W E27						
Soportales	120	22W/825 E27	4,20	7,56	40	Plafón 26W/840	1,04	2,34
TOTAL			244,16	367,10			49,51	75,81

Tabla 10.2. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Sabatini. <sup>T 10.2</sup>

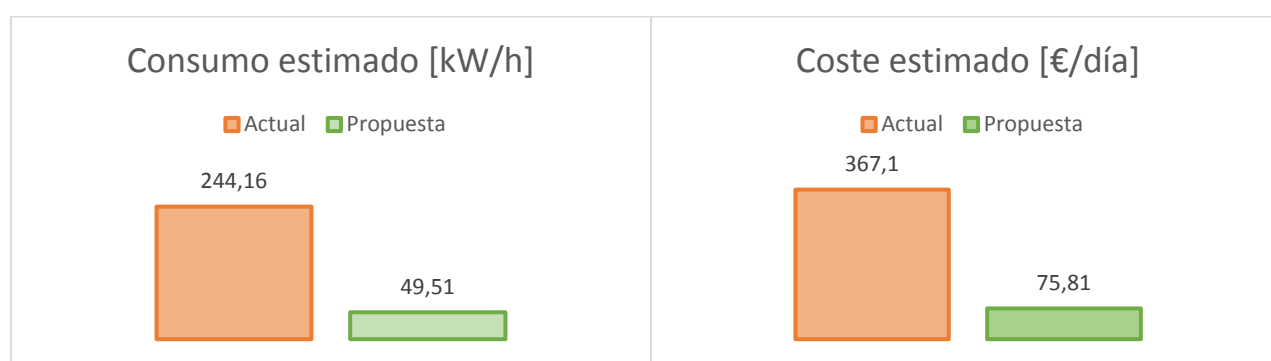


Figura 10.2. Gráficas comparativa consumos y costes estimados edificio Sabatini. <sup>1.2</sup>

<sup>T 10.2</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>1.2</sup> Fuente: elaboración propia.



### 10.3. Biblioteca Rey Pastor

Zona	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Salas de lectura	972	T8 36W/865 G13	68,355	123,04	354	Pantalla 40W/840	14,16	25,49
	9	T8 18W/865 G13						
Aulas informática	39	T8 36W/865 G13	2,80	3,78	16	Pantalla 40W/840	0,69	0,93
	2	T8 18W/865 G13			2	Pantalla 26W/840		
Laboratorios	38	T8 36W/865 G13	2,73	3,69	10	Downlight 15W	0,15	0,20
	2	T8 18W/865 G13						
Administración	116	T8 36W/865 G13	8,96	12,10	44	Pantalla 40W/840	1,91	2,58
	24	22W/825 E27			10	Downlight 15W		
Pasillos	3	T8 18W/865 G13	13,755	24,76	13	Pantalla 34W/840	2,03	3,66
	26	T8 36W/865 G13			106	Downlight 15W		
	338	22W/825 E27						
Hall ascensores y escaleras	48	T8 36W/865 G13	1,82	4,10	36	Pantalla 40W/840	1,44	3,24
	2	R63 46W E27						
Aseos	6	T8 36W/865 G13	1,54	2,77	12	Downlight 15W 4 sensores	0,18	0,32
	16	R63 46W E27						
C. limpieza y vestuarios	4	T8 36W/865 G13	0,63	1,13	13	Downlight 15W	0,20	0,35
	8	22W/825 E27						
	1	R63 46W E27						
Soportales	46	22W/825 E27	1,61	2,90	15	Plafón LED 26W/840	0,39	0,88
<b>TOTAL</b>			<b>102,2</b>	<b>178,26</b>			<b>21,15</b>	<b>37,65</b>

Tabla 10.3. Tabla comparativa instalación actual y propuesta biblioteca Rey Pastor. <sup>T 10.3</sup>

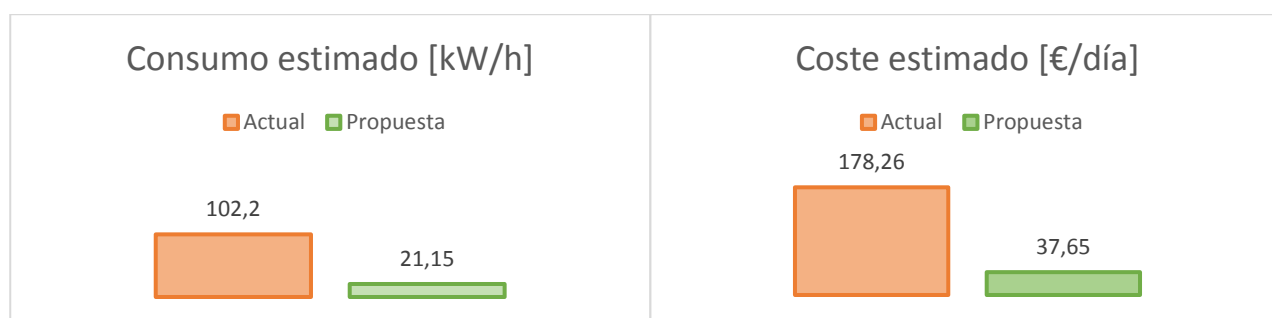


Figura 10.3. Gráficas comparativas consumos y costes estimados biblioteca Rey Pastor. <sup>10.3</sup>

<sup>T 10.3</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.3</sup> Fuente: elaboración propia.

## 10.4. Edificio Torres Quevedo

Zona	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Aulas	531	T8 36W/865 G13	37,17	50,18	255	Pantalla 40W/840	11,292	15,2442
					42	Pantalla 26W/840		
Aulas informática	136	T8 36W/865 G13	9,52	17,14	43	Pantalla 40W/840	2,032	3,6576
					12	Pantalla 26W/840		
Laboratorios	841	T8 36W/865 G13	58,87	79,47	475	Pantalla 40W/840	19,52	26,352
					20	Pantalla 26W/840		
Despachos	600	T8 36W/865 G13	42,00	56,70	399	Pantalla 40W/840	19,02	25,677
					90	Pantalla 34W/840		
Administración	30	T8 36W/865 G13	2,10	2,84	11	Pantalla 40W/840	0,44	0,594
Pasillos	590	T8 36W/865 G13	42,84	72,11	227	Pantalla 34W/840	7,958	14,3244
	44	22W/825 E27			16	Downlight 15W 62 sensores		
Hall ascensores y escaleras	158	22W/825 E27	5,53	12,44	139	Downlight 15W	2,085	4,69125
Aseos	29	T8 36W/865 G13	13,86	24,95	159	Downlight 15W 26 sensores	2,205	3,969
	156	22W/825 E27						
	91	R63 46W E27						
C. limpieza y vestuarios	8	T8 36W/865 G13	2,59	4,66	25	Downlight 15W 2 sensores	0,375	0,675
	29	R63 46W E27						
Aparcamiento	42	T8 36W/865 G13	2,94	6,62	65	Tubo 26w/840 17 sensores	1,69	3,8025
Soportales	38	22W/825 E27	1,33	2,39	12	Plafón 26W/840	0,312	0,702
<b>TOTAL</b>			<b>218,75</b>	<b>334,50</b>			<b>66,93</b>	<b>99,69</b>

Tabla 10.4. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Torres Quevedo. <sup>T 10.4</sup>

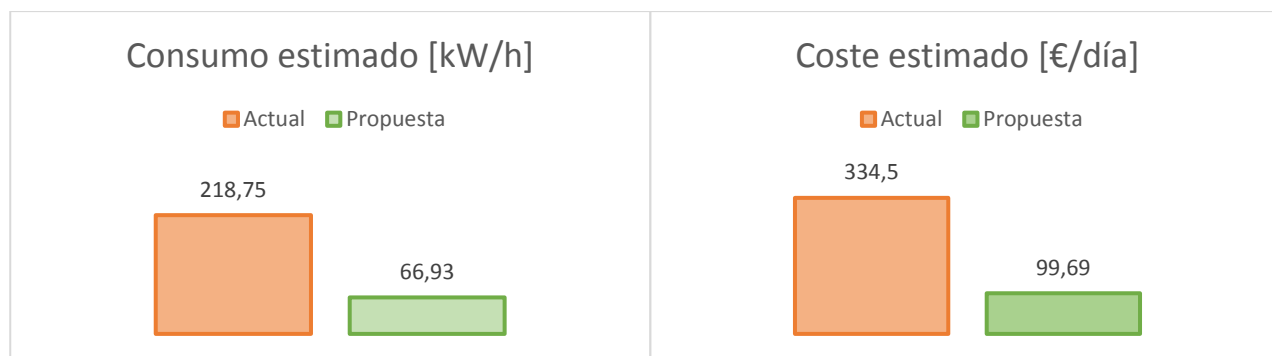


Figura 10.4. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Torres Quevedo. <sup>10.4</sup>

<sup>T 10.4</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.4</sup> Fuente: elaboración propia.

### 10.5.1. Edificio Juan Benet I

Zona	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Aulas	604	T8 36W/865 G13	42,28	57,08	224	Pantalla 40W/840	9,95	13,43
					38	Pantalla 26W/840		
Aulas informática	136	T8 36W/865 G13	9,52	17,14	48	Pantalla 40W/840	2,13	3,83
					8	Pantalla 26W/840		
Laboratorios	60	T8 36W/865 G13	4,20	5,67	30	Pantalla 40W/840	1,20	1,62
Despachos	328	T8 36W/865 G13	22,96	31,00	123	Pantalla 40W/840	6,07	8,20
					34	Pantalla 34W/840		
Administración	8	T8 36W/865 G13	0,56	0,76	4	Pantalla 40W/840	0,16	0,22
Pasillos	420	22W/825 E27	14,70	26,46	104	Downlight 15W 16 sensores	1,56	2,81
Hall ascensores y escaleras	24	22W/825 E27	1,44	3,24	80	Downlight 15W	1,20	2,70
	30	16W/835/4P 1CT						
Aseos	8	T8 36W/865 G13	5,04	9,07	52	Downlight 15W 8 sensores	0,78	1,40
	128	22W/825 E27						
Aparcamiento	116	T8 36W/865 G13	8,12	18,27	35	Tubo 26w/840 4 sensores	0,91	2,05
<b>TOTAL</b>			<b>108,82</b>	<b>168,68</b>			<b>23,96</b>	<b>36,26</b>

Tabla 10.5. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Juan Benet I. <sup>T 10.5</sup>

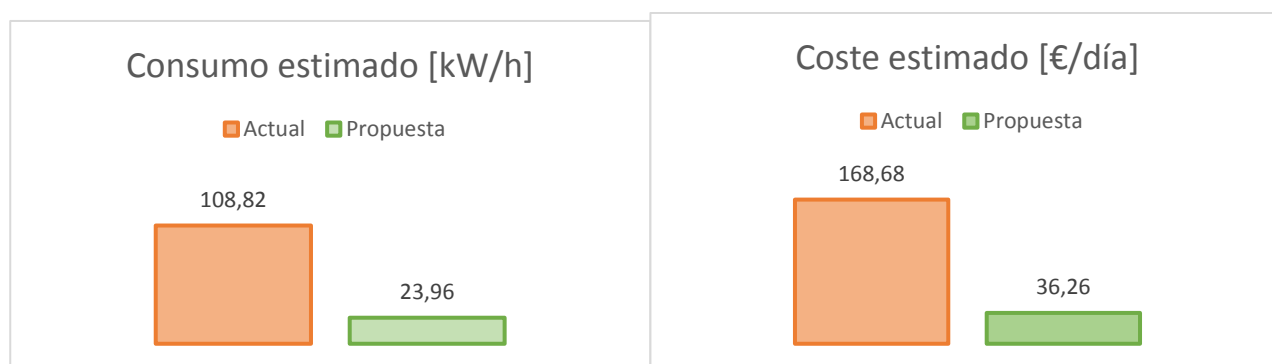


Figura 10.5. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Juan Benet I. <sup>10.5</sup>

<sup>T 10.5</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.5</sup> Fuente: elaboración propia.

10.5.2. Edificio Juan Benet II

Zona	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Aulas	18	T8 36W/865 G13	11,90	16,07	40	Pantalla 40W/840	2,59	0,35
	304	T8 18W/865 G13			20	Pantalla 34W/840		
					12	Pantalla 26W/840		
Laboratorios	24	T8 36W/865 G13	16,60	22,41	58	Pantalla 40W/840	3,82	5,15
	428	T8 18W/865 G13			44	Pantalla 34W/840		
Despachos	548	T8 18W/865 G13	19,18	25,89	47	Pantalla 40W/840	3,51	4,74
					48	Pantalla 34W/840		
Pasillos	208	13W/840 E27	4,16	7,49	65	Downlight 15W 14 Sensores	0,98	1,78
Escaleras	16	22W/840 E27	0,56	1,26	15	Downlight 15W	0,23	0,51
Aseos	6	T8 36W/865 G13	2,28	4,10	30	Downlight 15W 6 Sensores	0,45	0,81
	30	13W/840 E27						
	18	R63 46W E27						
Aparcamiento	90	T8 36W/865 G13	6,30	14,18	40	Tubo 26w/840 6 Sensores	1,04	2,34
TOTAL			61,04	91,40			12,61	15,67

Tabla 10.6. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Juan Benet II. <sup>T10.6</sup>

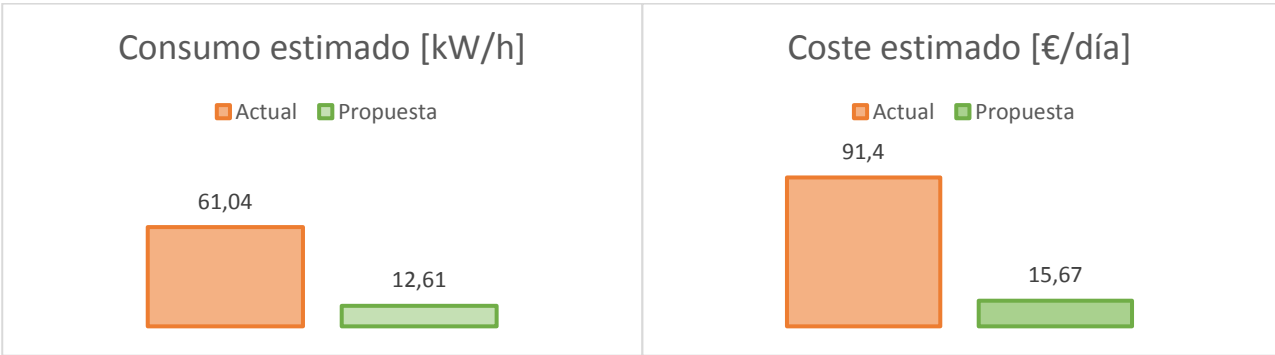


Figura 10.6. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Juan Benet II. <sup>10.6</sup>

<sup>T10.6</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.6</sup> Fuente: elaboración propia.

## 10.6. Alumbrado exterior

	ACTUALMENTE				PROPUESTA			
Zona	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Luminaria		Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]
	Nº	Tipo			Nº	Tipo		
Parque Sabatini	24	150W/828 E40	7,20	12,96	26	LED 55W/740	1,43	2,57
Perímetro edificio Sabatini	56	22W/825 E27	1,96	3,53	28	LED DIR/INDIR 16,8W/840	0,47	0,85
Calle peatonal y parque central	49	150W/828 E40	14,70	26,46	45	LED 55W/740	2,48	4,46
					2	LED 11W/855		
Acceso aparcamiento edificio Torres Quevedo y Auditorio	26	150W/828 E40	7,80	14,04	16	LED 55W/740	1,69	3,05
					22	LED 37W/830		
Acceso talleres Betancourt	10	150W/828 E40	4,40	7,92	20	LED 37W/740	0,74	1,33
	40	22W/825 E27						
TOTAL			36,06	64,91			6,81	9,21

Tabla 10.7. Tabla comparativa instalación actual y propuesta alumbrado exterior. <sup>T 10.7</sup>

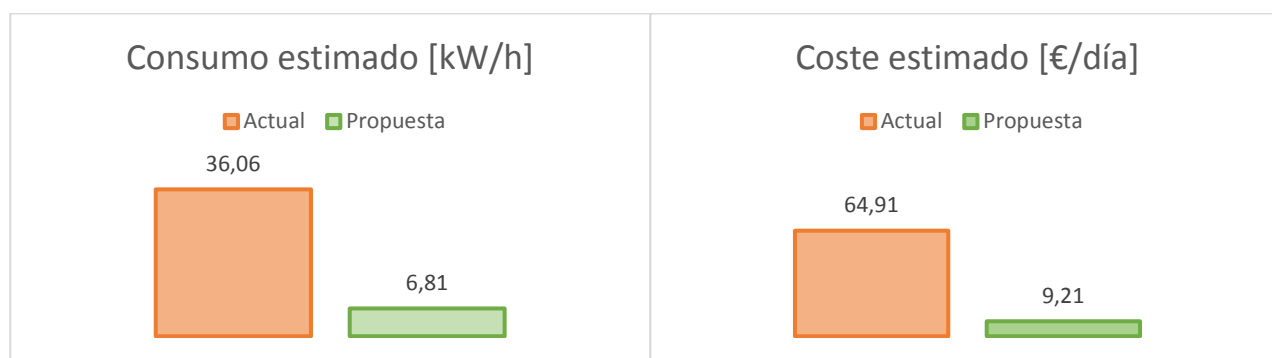


Figura 10.7. Gráficas comparativas consumos y costes estimados alumbrado exterior. <sup>10.7</sup>

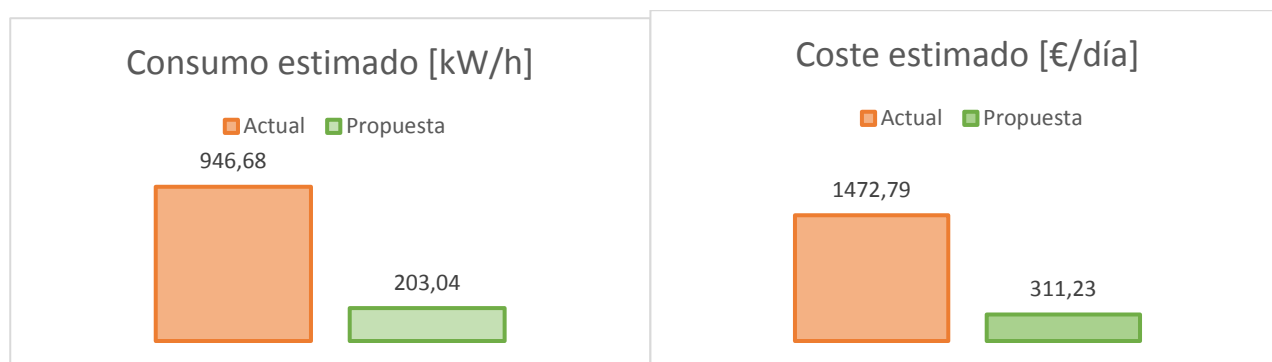
<sup>T 10.7</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.7</sup> Fuente: elaboración propia.

## 10.7. Comparativa global

Zona	ACTUALMENTE		PROPUESTA			
	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Consumo estimado [kW/h]	Coste estimado [€ / día]	Ahorro	
					Energético [%]	Económico [%]
Edificio 1	394,40	602,44	89,00	136,63	77,43	77,32
Edificio 2	244,16	367,10	49,51	75,81	79,72	79,35
Edificio 3	102,20	21,09	178,26	36,65	79,31	78,88
Edificio 4	218,75	334,50	66,93	99,69	69,40	70,20
Edificio 7.1	108,82	168,68	23,96	36,26	77,98	78,50
Edificio 7.2	61,04	91,4	12,61	15,67	79,34	82,86
Exteriores	36,06	64,91	6,81	9,21	81,11	85,81
<b>TOTAL</b>	946,68	1472,79	203,04	311,23	78,55	78,87

**Tabla 10.8. Tabla comparativa instalación actual y propuesta global.** <sup>T 10.8</sup>



**Figura 10.8. Gráficas comparativas consumos y costes estimados globales.** <sup>10.8</sup>

Los datos reflejan un ahorro energético y económico del 78,55% y 78,87% respectivamente. Con la estimación tomada a 220 días anuales, el ahorro obtenido es de 255.543,20 € por año.

<sup>T 10.8</sup> Fuente: elaboración propia.

<sup>10.8</sup> Fuente: elaboración propia.

# Capítulo 11

## Mediciones y presupuesto

En este capítulo se detallan todas las mediciones de materiales y servicios, juntos a sus tarifas asociadas, necesarias para la realización del presupuesto del presente proyecto.

El cálculo se ha realizado en Presto junto a una hoja de cálculo Excel, identificando y diferenciando todos los capítulos en los que se divide el proyecto de ejecución:

1. Instalación eléctrica
  - 1.1.Luminarias
  - 1.2.Desmontaje y montaje
2. Calidad
  - 2.1.Calidad
3. Gestión de residuos
  - 3.1.Gestión de residuos
4. Seguridad y salud
  - 4.1.Seguridad y salud

Las tarifas materiales se obtienen de catálogos de fabricantes y diversos presupuestos solicitados a empresas distribuidoras. También se tiene en cuenta el canon RAEE.<sup>35</sup> [37]

---

<sup>35</sup> Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

## 11.1. Mediciones y presupuesto

<i>Código</i>	<i>Nat</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>N</i>	<i>Imp Ud</i>	<i>Imp Total</i>
<b>C01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACION ELÉCTRICA</b>			
<b>C01.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>LUMINARIAS</b>			
<b>01.01.01</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP U25M2/LEDN50 DE</b> Suministro de luminaria empotrada modelo U25M2/LEDN50 DE de ETAP Difusor RAL9210-blanco Carcasa en chapa de acero lacado, IP40 cara inferior dimensiones: (lxbxh) 596 mm x 596 mm x 85 mm Modelo regulable con sensor de flujo luminoso	<b>1.634</b>	<b>350,92</b>	<b>573.403,28</b>
<b>01.01.02</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP U25M1/LEDN50 D</b> Suministro de luminaria empotrada modelo U25M1/LEDN50 DE de ETAP Difusor RAL9210-blanco Carcasa en chapa de acero lacado, IP40 cara inferior dimensiones: (lxbxh) 1196 mm x 296 mm x 85 mm Modelo regulable	<b>476</b>	<b>251,84</b>	<b>119.875,84</b>
<b>01.01.03</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP U23I2/LEDN35 D</b> Suministro de luminaria empotrada modelo U23I2/LEDN35 D de ETAP Carcasa en chapa de acero lacado, IP40 cara inferior dimensiones: (lxbxh) 596 mm x 596 mm x 14 mm Modelo regulable	<b>655</b>	<b>180,0</b>	<b>117.900,00</b>
<b>01.01.04</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP 23F1/LEDN35 DE</b> Suministro de luminaria empotrada modelo U23F1/LEDN35 DE de ETAP Carcasa en chapa de acero lacado, IP40 cara inferior dimensiones: (lxbxh) 1196 mm x 296 mm x 14 mm Modelo regulable con sensor de flujo luminoso	<b>347</b>	<b>236,45</b>	<b>82.048,15</b>
<b>01.01.05</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP 23F1/LEDN35 D</b> Suministro de luminaria empotrada modelo U23F1/LEDN35 D de ETAP Carcasa en chapa de acero lacado, IP40 cara inferior dimensiones: (lxbxh) 1196 mm x 296 mm x 14 mm Modelo regulable	<b>311</b>	<b>188,66</b>	<b>58.673,26</b>
<b>01.01.06</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP R751R1/3635SX1 S</b> Suministro de luminaria suspendida individual modelo R751R1/3635SX1 S de ETAP Carcasa en chapa de acero lacado diseño : EER design dimensiones: (lxbxh) 1500 mm x 150 mm x 50 mm Modelo no regulable	<b>270</b>	<b>202,16</b>	<b>54.583,20</b>
<b>01.01.07</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP R736R1/LEDN3645SX1 DE</b> Suministro de luminaria suspendida LED modelo R736R1/LEDN3645SX1 DE de ETAP Carcasa en chapa de acero lacado diseño : EER design dimensiones: (lxbxh) 1680 mm x 150 mm x 50 mm Modelo regulable con sensor de flujo luminoso	<b>72</b>	<b>312,48</b>	<b>22.498,56</b>



<b>01.01.08</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria ETAP R736R1/LEDN3645SX1 D</b> Suministro de luminaria suspendida LED modelo R736R1/LEDN3645SX1 D de ETAP Carcasa en chapa de acero lacado diseño : EER design dimensiones: (lxbxh) 1680 mm x 150 mm x 50 mm Modelo regulable	<b>210</b>	<b>210,12</b>	<b>44.125,20</b>
<b>01.01.9</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria TRILUX 1500 XB 4000-840 T</b> Suministro de luminaria LED de superficie para locales húmedos IP66. Cuerpo de luminaria de poliéster reforzada con fibra de vidrio, similar a RAL 7035, de color gris luz. Difusor de recubrimiento de PC. Dimensiones (L x A): 1500 mm x 88 mm, altura de la luminaria 77 mm. Modelo regulable	<b>295</b>	<b>114,00</b>	<b>33.630,00</b>
<b>01.01.10</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria Inplana C07 OTA25 2000-840 ETDD 01</b> Suministro de downlight LED para techos con dimensiones de cavidad $\geq 35$ mm Abertura de corte $\varnothing$ 215 mm, Profundidad de corte $\geq 36$ mm. Cubierta de PMMA translúcido. Con principalmente. Iluminación decorativa del techo. También suaviza el contraste en el techo. Armonioso. Efecto luminoso debido a una iluminación homogénea. Cuerpo de la luminaria de aluminio fundido, pintado en polvo. blanco. Diámetro de la luminaria $\varnothing$ 234 mm. Altura de la luminaria 42 mm.	<b>1606</b>	<b>173,60</b>	<b>207.8801,60</b>
<b>01.01.11</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria RZB Industrial Hall Midi 133W</b> Suministro de luminaria serie: Industrial Hall Midi Highbay 921456.003.76 Tipo de instalación: Cable / cadena de suspensión Tipo de protección: IP 65 Clase de protección: I Lámpara / Potencia: 1 x LED 124,8 4000 K / 14000 lm Dimensiones: D 390, H 299 Color: negro Carcasa: aluminio fundido a presión, recubierto con polvo negro, con anillo ocular. Enfriamiento pasivo. Cubierta: Vidrio de seguridad transparente simple (vidrio templado). Control de luz primario con alto rendimiento de ancho Área LEDs en color claro 840. Reflector: aluminio mate. Adecuado para Cadena o suspensión de cable de acero (proporcionada por el cliente)	<b>73</b>	<b>548,67</b>	<b>44.442,27</b>
<b>01.01.12</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria RZB 581625.004 Serie: Rounded</b> Suministro de luminaria 581625.004 Serie: Rounded de RZB. Anillo de base y el bisel: aluminio fundido a presión, con recubrimiento de polvo. Difusor: plástico (policarbonato), ópalo.	<b>100</b>	<b>92,75</b>	<b>9.275,00</b>
<b>01.01.13</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria NIC 105 DIR/INDIR 1200 WW MFL GR</b> Suministro de aplique de exterior de la marca LAMP. Fabricado en extrusión e inyección de aluminio lacado en color gris texturizado, con cierre de cristal templado transparente de seguridad. Modelo para LED HI-POWER, con temperatura de color blanco cálido y equipo electrónico incorporado. Reflector de aluminio de luz directa/indirecta. P65, IK09. Clase aislamiento I.	<b>28</b>	<b>194,50</b>	<b>5.446,00</b>

<b>01.01.14</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria BPP610 GRN69_740 PSU WRN</b> Fabricante: Philips Luminarias Colección: Stela gen2 Tipo: Farolas	<b>82</b>	<b>952,99</b>	<b>78.145,18</b>
<b>01.01.15</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Luminaria BPP616 GRN38_830</b> Fabricante: Philips Luminarias Colección: Stela long Tipo: Farolas	<b>22</b>	<b>612,49</b>	<b>13.474,78</b>
<b>01.01.16</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Columna 4,70 metros</b> Fabricante: Philips Luminarias Colección: Stela Tipo: Columns / Farolas Philips Luminarias	<b>15</b>	<b>345,99</b>	<b>5.189,85</b>
<b>01.01.17</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>OWL CL.I 3300 NW GR.</b> Luminaria vial modelo OWL CL.I 3300 NW GR. de la marca LAMP. Cuerpo fabricado en inyección de aluminio lacado en color gris texturizado, con cristal templado plano serigrafiado. Disipación pasiva a través del cuerpo. Modelo para LED HI-POWER, temperatura de color blanco neutro y equipo electrónico incorporado. Con ópticas viales. Con un grado de protección IP66, IK10. Clase de aislamiento I. Su rótula permite inclinar entre 10° y -10°.	<b>20</b>	<b>329,50</b>	<b>6.500,00</b>
<b>01.01.18</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Farola solar COVIMED 517 ECOLOGY</b> Suministro de farola COVIMED 517 ECOLOGY Tipo de material Acero galvanizado en caliente Altura total 4.7 m Pintura Epoxi a horno 220° Color RAL 7021 Diámetro 12 cm Plantilla de fijación 28x28 cm Pernos Anclaje 4 unidades 600 x 20 mm Cimentación 500 x 500 x 600 mm Resistencia al viento 140 Km/h	<b>2</b>	<b>1.082,99</b>	<b>2.165,98</b>
<b>01.01.19</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Detector movimiento Occuswitch LRM 1080/00</b> Suministro de detector Occuswitch, versión avanzada 73140799 - Philips Occuswitch LRM 1080/00	<b>295</b>	<b>122,00</b>	<b>35.990,00</b>
<b>TOTAL C01.01</b>						<b>3.386.168,15 €</b>
<b>C01.02</b>	<b>Capítulo</b>	<b>DESMONTAJE Y MONTAJE</b>				
<b>01.02.01</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Desmontaje y montaje pantallas</b> Sustitución de luminarias T.Modular Tipo Armstrong, incluso reforma de cableado y eliminación de equipos inservibles.	<b>1</b>	<b>6.000</b>	<b>6.000,00</b>
<b>01.02.02</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Desmontaje y montaje downlights</b> Sustitución de luminarias empotradas tipo downlight, incluyendo pequeño material de conexionado y eliminación de equipos inservible.	<b>1</b>	<b>7.400</b>	<b>7.400,00</b>

01.02.03	Partida	Ud	<b>Desmontaje y montaje plafones y apliques</b> Sustitución de luminarias adosadas tipo plafón o aplique, incluyendo pequeño material de conexionado y eliminación de equipos inservible.	1	800	800,00
01.02.04	Partida	Ud	<b>Desmontaje y montaje regleta fluorescente</b> Sustitución de regletas fluorescentes en ambientes húmedos como aparcamientos, incluyendo pequeño material de conexionado y eliminación de equipos inservible.	155	5,13	795,15
01.02.05	Partida	Ud	<b>Desmontaje y montaje lámparas industriales</b> Sustitución de lámparas industriales, incluyendo pequeño material de conexionado y eliminación de equipos inservible. Incluye material para trabajo en altura	73	25,99	1.897,27
01.02.06	Partida	Ud	<b>Sustitución y adecuación farolas existentes</b> Adecuación de 82 columnas de farolas actuales a las luminarias Stela+ gen2 round suministradas, incluyendo pequeño material de conexionado y eliminación de equipos inservible. Incluye material para trabajo en altura.	82	45,99	3.771,18
01.02.07	Partida	Ud	<b>Instalación de nuevas farolas y pintura</b> Obra para la instalación de 22 nuevas farolas en el esquema ya existente. Pintura oxiron con efecto antiadherente en postes farolas, adecuando el estilo al ya existente en los modelos renovados. Incluye todo el material de obra necesario.	22	285,71	6.285,62
01.02.08	Partida	Ud	<b>Sustitución brazos farolas</b> Sustitución brazos farolas por modelos LED, incluyendo pequeño material de conexionado y eliminación de equipos inservible. Incluye material para trabajo en altura.	20	34,49	689,80
01.02.09	Partida	Ud	<b>Obra y montaje farola solar</b> Instalación y montaje de farolas solares, incluyendo zapata de conexión y soportes fijación.	2	349,99	699,98
01.02.10	Partida	Ud	<b>Instalación detector movimiento</b> Instalación detector de movimiento Occuswitch, versión avanzada 73140799 - Philips Occuswitch LRM 1080/00. Apertura de hueco en placa de techo, conexionado, pequeño material y mano de obra.	295	51,22	15.109,90
01.02.11	Partida	Ud	<b>Reparaciones generales en falsos techos</b> Trabajos para reparar falsos techos tras reubicación de las luminarias, incluyendo todo el material de obra y pintura.	1	1200,00	1.200,00
TOTAL C01.02						44.648,90 €
TOTAL C01						3.430.817,05 €

<b>C02</b>	<b>Capítulo</b>	<b>CALIDAD</b>		
<b>C02.01</b>	<b>Capítulo</b>	<b>CALIDAD</b>		
<b>02.01.01</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Prueba de funcionamiento, control y comprobación de los niveles de iluminación</b> Prueba de funcionamiento de las luminarias y los controles añadidos. Comprobación de los niveles de iluminación obtenidos e informe del ahorro energético alcanzado.	
			<b>7</b>	<b>51,20</b>
			<b>TOTAL C02.01</b>	<b>358,40 €</b>
			<b>TOTAL C02</b>	<b>358,40 €</b>
<b>C03</b>	<b>Capítulo</b>	<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>		
<b>C03.01</b>	<b>Capítulo</b>	<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>		
<b>03.01.01</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Tubos T8 1.200 mm y 600 mm</b> Gestión de residuos producidos en la sustitución del alumbrado, según tasas de canon RAEE para tubos fluorescentes y pantallas.	
			<b>14.742</b>	<b>0,20</b>
			<b>TOTAL C03.01</b>	<b>2.984,40</b>
<b>03.01.02</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>Fluorescentes compactos y halógenos</b> Gestión de residuos producidos en la sustitución del alumbrado, según tasas de canon RAEE para lámparas de descarga, fluorescentes compactos y pantallas.	
			<b>3.487</b>	<b>0,30</b>
			<b>TOTAL C03.01</b>	<b>1.046,1</b>
			<b>TOTAL C03</b>	<b>3.994,50 €</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PRL, SEGURIDAD Y SALUD</b>		
<b>C04.01</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PRL, SEGURIDAD Y SALUD</b>		
<b>04.01.01</b>	<b>Partida</b>	<b>Ud</b>	<b>PRL, seguridad y salud</b> En concepto de instalaciones y mobiliario para los trabajadores, sus equipos de protección, su formación y reconocimientos médicos. Estudio de prevención de riesgos laborales, señalización zona de trabajo.	
			<b>1</b>	<b>5.000,00</b>
			<b>TOTAL C04.01</b>	<b>5.000,00</b>
			<b>TOTAL C04</b>	<b>5.000,00 €</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>3.440.169,95 €</b>	

## 11.2. Resumen del presupuesto

RESUMEN	EUROS	%
INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	3.430.817,05	99,72
CALIDAD.....	358,40	0,01
GESTIÓN DE RESIDUOS.....	3.994,50	0,12
PRL, SEGURIDAD Y SALUD.....	5.000,00	0,15
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>3.440.169,95</b>	
13,00 % Gastos generales.....	447.222,09	
6,00 % Beneficio industrial.....	206.410,20	
SUMA DE G.G. y B.I.	<b>653.632,29</b>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>4.093.802,24</b>	
21,00 % IVA.....	859.698,47	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA CON IVA</b>	<b>4.953.500,71</b>	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CUATRO MILLONES NOVECIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL QUINIENTOS EUROS con SETENTA Y UN CÉNTIMOS.

El resumen del presupuesto muestra que la instalación eléctrica supone el 99,72% del presupuesto. Dentro de ese capítulo, el 98,70% pertenece al coste de los nuevos materiales y solo el 1,30% restante al coste de desmontaje y montaje.

Los precios de los materiales son el PVP. Sin embargo, las empresas suministradoras proporcionan entre el 40% y 60% de descuento en sus materiales.

Tomando un ahorro del 50%, el presupuesto final queda como:

<b>RESUMEN</b>	<b>EUROS</b>	<b>%</b>
<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>	<b>1.693.084,08</b>	<b>99,46</b>
<b>CALIDAD.....</b>	<b>358,40</b>	<b>0,03</b>
<b>GESTIÓN DE RESIDUOS.....</b>	<b>3.994,50</b>	<b>0,23</b>
<b>PRL, SEGURIDAD Y SALUD.....</b>	<b>5.000,00</b>	<b>0,29</b>
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>1.747.085,88</b>	
13,00 % Gastos generales.....227.121,16		
6,00 % Beneficio industrial.....104.825,15		
<b>SUMA DE G.G. y B.I.</b>	<b>653.632,29</b>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>2.079.032,19</b>	
21,00 % IVA.....436.596,76		
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA CON IVA</b>	<b>2.515.628,95</b>	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DOS MILLONES QUINIENTOS QUINCE MIL SEISCIENTOS VEINTIOCHO EUROS con NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

La instalación eléctrica sigue suponiendo un alto porcentaje del presupuesto. Sin embargo, el valor del presupuesto obtenido finalmente es más atractivo de cara a la realización del proyecto.

## **Capítulo 12**

### **Estudio económico y huella de carbono**

El estudio económico demostrará la rentabilidad y viabilidad del proyecto e indicará el momento en el que se recupera la inversión inicial y se comienza a obtener beneficios económicos.

#### **12.1. Evaluación del Coste del Ciclo de Vida**

A la hora de realizar el estudio económico del proyecto se deberá tener en cuenta la baja vida útil de las actuales instalaciones de iluminación y sus equipos auxiliares frente a la tecnología LED propuesta.

En la actualidad, este inconveniente genera un gasto económico debido a la reposición de las lámparas y la mano de obra en mantenimiento.

Sin tener en cuenta que los encendidos y apagados sí afectan a la vida útil de la tecnología fluorescente, se realiza un estudio de reposición de las diferentes tecnologías de iluminación instaladas, junto a su coste económico asociado.

Recordando que la vida útil de la tecnología LED propuesta asciende a 50.000 horas mínimo, el estudio se realizará con una previsión de uso a 15 años con diferentes horarios de uso de los locales ya estipulados anteriormente. En todo caso, la propuesta podría dar servicio hasta 25 años.

Tipo lámpara	Unidades	Vida útil (h)	Período de reposición (años)	Coste económico (€)
Tubos fluorescentes 36W	12.736	15.000	7,5	56.038,40
Tubos fluorescentes 18W	740	15.000	7,5	1.776
Cebadores	13.476	10.000	5	16.171,20
Reactancias	13.659	20.000	10	204.885
F. Compacto 9W	372	10.000	5	2.511
F. Compacto 13W	254	10.000	5	1.981,20
F. Compacto 22W	2.739	20.000	10	10.682,10
Halógenos 46W	418	2.000	1	20.064
Halógenos 150W	109	27.000	10	1.962
Halógenos 400W	74	16.000	6	5.500
			<b>Total</b>	<b>321.620,90</b>
LED	-	50.000	25	0

**Tabla 12.1. Comparativa reposición lámparas y coste económico asociado.** <sup>T 12.1</sup>

La tabla indica un coste teórico de reposición nulo de las instalaciones propuestas en 15 años, frente a los 321.620,90 € de las actuales instalaciones. Además, a este coste habría que sumarle la mano de obra asociada a los cambios y plan de mantenimiento.

Por tanto, con un coste de inversión inicial de 2.515.628,95 €, durante los 15 años las nuevas instalaciones lograrán un ahorro en consumos de 3.833.148 € y un ahorro en mantenimiento y reposiciones valorado en 321.620,90 €, es decir, se recuperará la inversión y se obtendrá un beneficio de 1.639.139,95 €

## 12.2. Pay-back

El pay-back o plazo de retorno indica el tiempo que tarda en recuperarse la inversión inicial:

$$\text{Pay-back} = \frac{\text{Último período con flujo acumulado negativo}}{\text{flujo acumulado negativo}} + \frac{\text{Valor absoluto del último flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del siguiente flujo en el siguiente período}}$$

$$\text{Pay-back} = 9 + \frac{121.011,55}{474.409,90} = 9,26 \text{ años}$$

En 9,26 años se recuperará la inversión y durante 5,74 años se obtendrán beneficios hasta alcanzar un valor de 1.637.802,35 € al final de los 15 años.

<sup>T 12.1</sup> Fuente: catálogos fabricantes y elaboración propia



### 12.3. TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es el parámetro que indica la viabilidad del proyecto mostrando el porcentaje de beneficio que se obtendrá al acabar la inversión se obtendrá al finalizar la inversión.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Donde:

- $F_t$  es el flujo de caja en el período  $t$
- $I$  es el valor del desembolso inicial de la inversión
- $n$  es el número de períodos considerados

La TIR obtenida tiene un valor de 6,92 %.

### 12.4. VAN

Para el cálculo del VAN se tomará la siguiente relación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + k)^t} - I_0$$

Donde:

- $V_t$  son los flujos de caja en cada período  $t$
- $I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión
- $n$  es el número de períodos considerados
- $k$  es el tipo de interés

Conocidos los períodos de reposición podemos obtener los flujos de cada en cada período  $t$  durante 15 años. También se conoce el valor de la inversión inicial y el tipo de interés es 0, ya que no hace falta pedir ningún tipo de préstamo porque el dinero proviene de los Presupuestos Generales del Estado.

$$VAN = 1.637.802,35 \text{ €}$$

El VAN también acepta la viabilidad del proyecto.

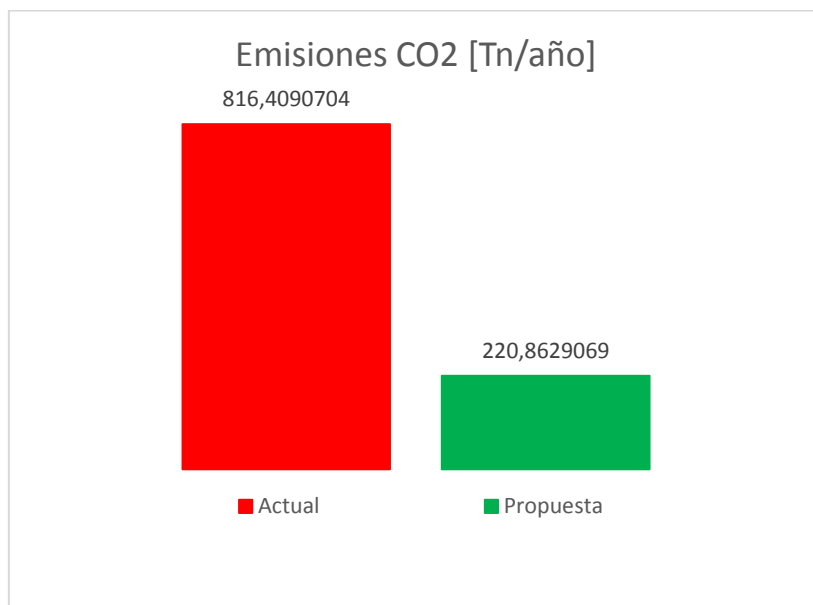
## 12.5. Huella de carbono [38]

Tras comprobar los altos consumos eléctricos referidos a la iluminación del campus, es importante nombrar el factor de emisión asociado a la energía eléctrica. Se denomina mix eléctrico e indica las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) referidas a la generación de la energía eléctrica que se consume.\*

El valor estimado de mix de la red eléctrica peninsular de 2016 es de 308 g CO<sub>2</sub>/kWh.

A continuación, se realiza una comparativa individual y global de la huella de carbono asociada a las actuales instalaciones y a las propuestas.

Tomando 220 días de apertura anual de cada edificio, los resultados de huella de carbono obtenidos se detallan a continuación.



**Figura 12.1. Comparativa huella de carbono.** <sup>12.1</sup>

Los resultados anuales muestran un descenso del 72,95% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, es decir, se evita la emisión de 595,55 Tn de CO<sub>2</sub> y su alto impacto ambiental.

---

\* En el cálculo del mix eléctrico no incluye la energía eléctrica generada con energías renovables limpias.

<sup>12.1</sup> Fuente: elaboración propia

## Capítulo 13

### Efectos de la luz artificial LED en la salud [39]

Aquellos efectos dañinos de la radiación óptica sobre la piel y ojos son llamados riesgos fotobiológicos.

La tecnología de iluminación LED emite radiaciones UV o IR en cantidades insignificantes. Sin embargo, sí conlleva riesgo fotobiológico la parte azul del espectro de la luz visible irradiado por estas fuentes.



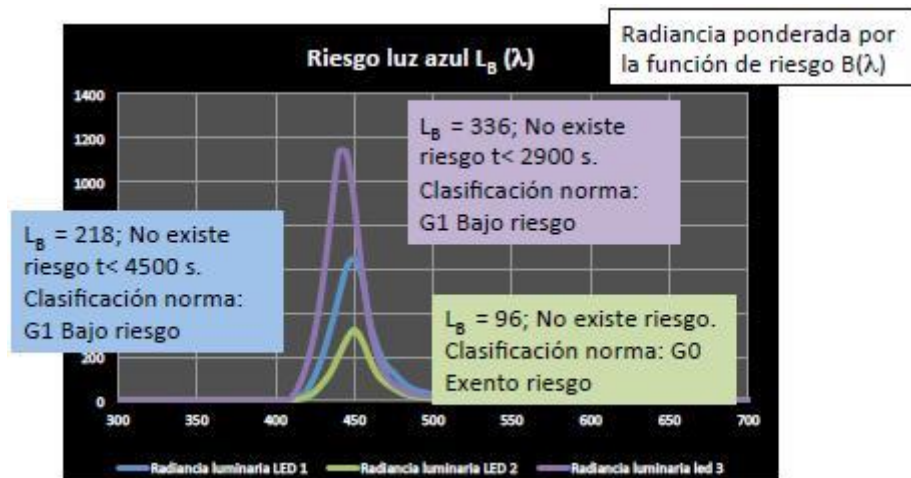
Figura 13.1. Espectros de radiancia luminaria LED. <sup>13.1</sup>

La mayor parte de ledes blancos tienen como base un chip emisor de luz azul junto a varias capas de material fluorescente, con el fin de radiar longitudes de onda más largas.

<sup>13.1</sup> Fuente: [www.2.bp.blogspot.com/-](http://www.2.bp.blogspot.com/-MunZQKO5JLM/Vh1y47xRaql/AAAAAAAAAos/XPvFg_MPaB0/s1600/Riesgolazul.JPG)

[MunZQKO5JLM/Vh1y47xRaql/AAAAAAAAAos/XPvFg\\_MPaB0/s1600/Riesgolazul.JPG](http://www.2.bp.blogspot.com/-MunZQKO5JLM/Vh1y47xRaql/AAAAAAAAAos/XPvFg_MPaB0/s1600/Riesgolazul.JPG)

Debido a ello, el de emisión de un LED blanco muestra un pico estrecho de azul primario y un pico ancho secundario, en la parte amarillo-naranja-rojo del espectro.



**Figura 13.2. Riesgos relacionados con la luz azul.** <sup>13.2</sup>

Aunque los LED sean fuentes pequeñas son muy brillantes y pueden provocar deslumbramiento. Además, la retina se ve afectada por los altos niveles de luminancia que generan. Los ledes fríos y más potentes suelen generar más riesgos que los cálidos y menos potentes.

Para que se produzcan daños térmicos o fotoquímicos en la retina por culpa de la luz visible generada por la tecnología LED son necesarios niveles de exposición o dosis acumuladas demasiado altas y prolongadas.

<sup>13.2</sup> Fuente: <https://1.bp.blogspot.com/-8QnvCKOS7PM/Vh1y4z5plfI/AAAAAAAAAo0/ZyuWhdxqIRo/s400/Riesgolazul2.JPG>

8QnvCKOS7PM/Vh1y4z5plfI/AAAAAAAAAo0/ZyuWhdxqIRo/s400/Riesgolazul2.JPG

# Capítulo 14

## Conclusiones

La propuesta de sustitución de las actuales instalaciones de iluminación interior y exterior a tecnología LED proporciona las ventajas de esta tecnología:

- Elevada vida útil
- Regulación del flujo luminoso
- Mayor eficacia y eficiencia luminosa
- Encendido inmediato y vida útil no afectada por los encendidos y apagados
- Costes de mantenimiento reducidos
- Ausencia de mercurio
- Ausencia de componentes IR o UV en el espectro de la luz visible

Una vez realizado el estudio luminotécnico y de eficiencia energética, junto al estudio económico y de impacto medioambiental, los resultados obtenidos concluyen en una mejora total de las instalaciones de iluminación interior y exterior, cumpliendo las exigencias de las normativas vigentes.

Las nuevas instalaciones irradian menos calor, lo cual supone también un ahorro energético en climatización. La ausencia de reactancias y cebadores eliminará sus molestos ruidos y, junto a las mejoras globales en la iluminación, se favorecerá al confort de todos los usuarios.

Del mismo modo, la huella de carbono se ve reducida en un 72,95% anual, lo que suponen 595,55 Tn CO<sub>2</sub> menos al año y la eliminación de sustancias tóxicas como el vapor de mercurio.

Finalmente, en el apartado económico los resultados indican un plazo de retorno de la inversión inicial de 9,26 años, con una TIR del 6,92%, generando un beneficio de 1.637.802,35 € tras un plazo de 15 años de uso de las nuevas instalaciones.

En conclusión, el proyecto propuesto es totalmente viable y supone una mejora en todos los ámbitos.



# Índice de figuras

Figura 2.1. Localización global.....	3
Figura 2.2. Antiguo acuartelamiento del RIMZ de Saboya nº6. ....	4
Figura 2.3. EPS UC3M en la actualidad. ....	5
Figura 3.1. Radiaciones del espectro electromagnético. ....	8
Figura 3.2. Descomposición de la luz blanca por medio de un prisma. ....	9
Figura 3.3. Sensibilidad del ojo humano. ....	9
Figura 3.4. Espectrorradiómetro. ....	10
Figura 3.5. Distribución espectral de la luz del día y una lámpara incandescente. ....	10
Figura 3.6. Distribución espectral de una lámpara fluorescente de color blanco frío y de una lámpara de vapor de mercurio de color corregido. ....	11
Figura 3.7. Ángulo sólido. ....	12
Figura 3.8. Sólido fotométrico de una lámpara incandescente. ....	13
Figura 3.9. Factores iluminancia. ....	14
Figura 3.10. Iluminación de un objeto cercano y otro lejano. ....	14
Figura 3.11. Luxómetro. ....	14
Figura 3.12. Factores luminancia. ....	15
Figura 3.13. Luxómetro. ....	15
Figura 3.14. Reflexión, absorción y transmisión de la luz. ....	16
Figura 3.15. Iluminancia y luminancia con superficie de distinto color. ....	17
Figura 3.16. Partes del ojo humano. ....	17
Figura 3.17. Detalle de la retina: conos y bastones. ....	18
Figura 3.18. Conos y bastones. ....	19
Figura 3.19. Distribución de conos y bastones en la retina. ....	19
Figura 3.20. Comparación ojo humano y cámara fotográfica. ....	19
Figura 3.21. Curva escotópica y fotópica. ....	20
Figura 3.22. Cuadro blanco sobre fondo blanco. ....	21
Figura 3.23. Contraste de detalle e iluminancia. ....	22
Figura 3.24. Test de Snellen. ....	23



Figura 4.1. Escala temperatura de color. ....	24
Figura 4.2. Relación porcentaje de radiación visible frente a temperatura. ....	25
Figura 4.3. Curvas de Kruithof. ....	25
Figura 4.4. Comparativa IRC 90, 80 y 60. ....	26
Figura 4.5. Marca 840 en tubo fluorescente de 18W. ....	26
Figura 4.6. Diagrama tensión - vida útil. ....	27
Figura 4.7. Pérdidas de la potencia eléctrica consumida. ....	28
Figura 4.8. Gráfica sensibilidad relativa frente a energía y longitud de onda. ....	29
Figura 4.9. Gráfica sensibilidad relativa frente a energía y longitud de onda. ....	29
Figura 4.10. Factor de conservación. ....	31
Figura 4.11. Deslumbramiento. ....	32
Figura 4.12. Grado de protección IP-K. ....	33
Figura 5.1. Partes de una lámpara incandescente. ....	37
Figura 5.2. Lámpara halógena. ....	38
Figura 5.3. Partes de la lámpara fluorescente tubular. ....	39
Figura 5.4. Conjunto equipos auxiliares. ....	40
Figura 5.5. Funcionamiento LED. ....	41
Figura 5.6. Variación color según el material semiconductor del LED. ....	42
Figura 5.7. Evolución eficacia tecnologías de iluminación. ....	42
Figura 5.8. Componentes de un LED. ....	43
Figura 5.9. Comparativa distribución espectral fuentes de luz más comunes. ....	44
Figura 5.10. IRC de distintas fuentes de luz. ....	44
Figura 5.11. Cámara termográfica. ....	46
Figura 5.12. Comparativa termográfica tubo fluorescente vs tubo LED. ....	46
Figura 5.13. Tipos de casquillos de lámpara más comunes. ....	47
Figura 5.14. Reflector especular y disperso. ....	48
Figura 5.15. Difusor transparente, prismático y opal liso. ....	48
Figura 5.16. Detector de movimiento y fotocélula. ....	49
Figura 5.17. Logotipo de regulación DALI. ....	50
Figura 6.1. Esquema fachada y obstáculo de luz natural. ....	58
Figura 6.2. Esquema edificios con patio interior. ....	59
Figura 6.3. Esquema edificios con patio interior cubierto. ....	59

Figura 6.4. Dimensiones mínimas del área circundante inmediata y del área del fondo en relación con el área de la tarea. ....	65
Figura 6.5. Ángulo de apantallamiento $\alpha$ . ....	67
Figura 6.6. El ángulo entre la línea de visión del observador y la dirección de la luz incidente emitida por cada luminaria individual. ....	76
Figura 6.7. Modelo de comunicación relativo a la realización de una auditoría energética. ....	81
Figura 6.8. Modelo de comunicación relativo a la realización de una auditoría energética. ....	83
Figura 6.9. Diagrama de flujo del proceso de auditoría energética. ....	84
Figura 6.10. Alcance, nivel de detalle y objetivo de auditoría. ....	84
Figura 6.11. Etiqueta calificación energética de las instalaciones de alumbrado. ....	91
Figura 7.1. Edificio Betancourt. ....	102
Figura 7.2. Planos planta y distribución espacios edificio Betancourt. ....	102
Figura 7.3. Edificio Sabatini. ....	104
Figura 7.4. Planos planta y distribución espacios edificio Sabatini. ....	104
Figura 7.5. Planos planta y distribución biblioteca Rey Pastor. ....	106
Figura 7.6. Planos planta y distribución espacios biblioteca Rey Pastor. ....	106
Figura 7.7. Representación edificio Torres Quevedo. ....	108
Figura 7.8. Planos planta y distribución espacios edificio Torres Quevedo. ....	108
Figura 7.9. Edificios Juan Benet I y II. ....	110
Figura 7.10. Planos planta y distribución espacios edificio Juan Benet I. ....	110
Figura 7.11. Planos planta y distribución espacios edificio Juan Benet II. ....	112
Figura 7.12. Representación campus EPS. ....	113
Figura 7.13. Distribución espacios exteriores campus EPS. ....	113
Figura 7.14. Imágenes de algunas deficiencias actuales. ....	115
Figura 8.1. Pantallas 60x60 cm y 120x60 cm con tubos fluorescentes T8 2x18W y 4x36W. ....	118
Figura 8.2. Pantallas lineales suspendidas en aula 2.3.B.02 y empotradas en falso techo biblioteca. ....	118
Figura 8.3. Regletas fluorescente suspendidas para pizarra en aula 2.3.B.02. ....	119
Figura 8.4. Regletas fluorescente suspendidas para pizarra en aula 2.3.B.02. ....	119
Figura 8.5. Balasto ferromagnético y cebador. ....	120
Figura 8.6. Downlights y fluorescentes compactos soportales, pasillos interiores o escaleras. ....	123
Figura 8.7. Halógenos Osram eco pro classic R63 48W en aseos. ....	125
Figura 8.8. Halógenos HQI-E 400W/D PRO en talleres. ....	125

Figura 8.9. Plafones de pared y techo interiores. ....	127
Figura 8.10. Plafones de pared y techo exteriores. ....	127
Figura 8.11. Farola de columna o poste y en pared. ....	129
Figura 8.12. Sensor de presencia Philips OccuSwitch DALI LRM1080/00. ....	132
Figura 8.13. Esquema conexión fotocélula. ....	133
Figura 8.14. Sustitución instalación fluorescente a LED. ....	134
Figura 8.15. Código técnico de un cable que cumple la nueva CPR. ....	135
Figura 9.1. Renderización edificio Agustín Betancourt. ....	137
Figura 9.2. Simulación en aula 1.0.B.03. ....	138
Figura 9.3. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aula 1.0.B.03. ....	138
Figura 9.4. Resultados simulación sin luz diurna en aula 1.0.B.03. ....	139
Figura 9.5. Simulación en despacho 1.3.D.08. ....	140
Figura 9.6. Resultados simulación sin luz diurna en despacho 1.3.D.08. ....	141
Figura 9.7. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aula 1.0.B.03. ....	141
Figura 9.8. Simulación en laboratorio 1.0.S.01. ....	142
Figura 9.9. Resultados simulación sin luz diurna en laboratorio 1.0.S.01. ....	143
Figura 9.10. Visualización distribución luminarias e isolíneas en laboratorio 1.0.S.01. ....	143
Figura 9.11. Simulación en talleres nave sur. ....	144
Figura 9.12. Resultados simulación sin luz diurna en talleres nave sur. ....	145
Figura 9.13. Visualización distribución luminarias e isolíneas en talleres nave sur. ....	145
Figura 9.14. Simulación en pasillos planta baja. ....	146
Figura 9.15. Resultados simulación sin luz diurna en pasillos planta baja. ....	147
Figura 9.16. Visualización distribución luminarias e isolíneas en pasillos planta baja. ....	147
Figura 9.17. Renderización edificio Sabatini. ....	148
Figura 9.18. Simulación en despacho 2.0.B.19. ....	149
Figura 9.19. Visualización distribución luminarias e isolíneas en despacho 2.0.B.19. ....	149
Figura 9.20. Resultados simulación sin luz diurna en despacho 2.0.B.19. ....	150
Figura 9.21. Simulación en aula 2.3.B.04. ....	151
Figura 9.22. Resultados simulación sin luz diurna en aula 2.3.B.04. ....	152
Figura 9.23. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aula 2.3.B.04. ....	152
Figura 9.24. Simulación en pasillos planta 1. ....	153
Figura 9.25. Visualización distribución luminarias e isolíneas en pasillos planta 1. ....	154
Figura 9.26. Resultados simulación sin luz diurna en pasillos planta 1. ....	154

Figura 9.27. Renderización biblioteca Rey Pastor. ....	155
Figura 9.28. Simulación en sala de lectura y estanterías planta 1. ....	156
Figura 9.29. Resultados simulación sin luz diurna en sala de lectura y estanterías planta 1. ....	157
Figura 9.30. Visualización distribución luminarias e isolíneas en sala y estanterías planta 1. ....	157
Figura 9.31. Renderización edificio Torres Quevedo. ....	158
Figura 9.32. Detalle fachada lados B, D y E edificio Torres Quevedo. ....	159
Figura 9.33. Simulación en pasillos planta baja. ....	159
Figura 9.34. Resultados simulación sin luz diurna en pasillos planta baja. ....	160
Figura 9.35. Visualización distribución luminarias e isolíneas en pasillos planta baja. ....	160
Figura 9.36. Simulación en aula informática 4.S.D.02. ....	161
Figura 9.37. Resultados simulación en aula informática 4.S.D.02. ....	162
Figura 9.38. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aula informática 4.S.D.02. ....	162
Figura 9.39. Simulación en aparcamiento Torres Quevedo. ....	163
Figura 9.40. Resultados simulación en aparcamiento Torres Quevedo. ....	164
Figura 9.41. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aparcamiento. ....	164
Figura 9.42. Simulación en soportal edificio Torres Quevedo. ....	165
Figura 9.43. Resultados simulación sin luz diurna en soportal edificio Torres Quevedo. ....	166
Figura 9.44. Visualización distribución luminarias e isolíneas en soportal edificio Torres Quevedo. ....	166
Figura 9.45. Renderización edificio Juan Benet I. ....	167
Figura 9.46. Renderización edificio Juan Benet II. ....	167
Figura 9.47. Simulación en pasillo interior Juan Benet II. ....	168
Figura 9.48. Resultados simulación sin luz diurna en pasillo interior Juan Benet II. ....	169
Figura 9.49. Visualización isolíneas en pasillo interior Juan Benet II. ....	169
Figura 9.50. Simulación en aseo Juan Benet I. ....	170
Figura 9.51. Resultados simulación sin luz diurna en aseo Juan Benet I. ....	171
Figura 9.52. Visualización distribución luminarias e isolíneas en aseo Juan Benet I. ....	171
Figura 9.53. Simulación en tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I. ....	172
Figura 9.54. Resultados simulación sin luz diurna en tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I. ....	173
Figura 9.55. Visualización distribución luminarias e isolíneas en tiro escaleras y ascensores Juan Benet I. ....	hall 173
Figura 9.56. Renderización campus EPS UC3M Leganés. ....	174
Figura 9.57. Resultados simulación en parque Sabatini. ....	175
Figura 9.58. Simulación superficie parque Sabatini. ....	175
Figura 9.59. Procesado de colores falsos en parque Sabatini. ....	176

Figura 9.60. Etiqueta energética alumbrado parque Sabatini. ....	176
Figura 9.61. Ubicación farolas solares. ....	177
Figura 9.62. Resultados simulación en parque y calle peatonal. ....	178
Figura 9.63. Simulación superficie parque y calle peatonal. ....	178
Figura 9.64. Procesado de colores falsos en parque y calle peatonal. ....	179
Figura 9.65. Etiqueta energética alumbrado parque y calle peatonal. ....	179
Figura 9.66. Resultados simulación en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	181
Figura 9.67. Simulación superficie accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	181
Figura 9.68. Procesado de colores falsos en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	181
Figura 9.69. Etiqueta energética alumbrado accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	182
Figura 9.70. Resultados simulación en acceso talleres Betancourt. ....	184
Figura 9.71. Simulación superficie acceso talleres Betancourt. ....	184
Figura 9.72. Procesado de colores falsos en acceso talleres Betancourt. ....	185
Figura 9.73. Etiqueta energética alumbrado acceso talleres Betancourt. ....	185
 Figura 10.1. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Betancourt. ....	 187
Figura 10.2. Gráficas comparativa consumos y costes estimados edificio Sabatini. ....	188
Figura 10.3. Gráficas comparativas consumos y costes estimados biblioteca Rey Pastor. ....	189
Figura 10.4. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Torres Quevedo. ....	190
Figura 10.5. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Juan Benet I. ....	191
Figura 10.6. Gráficas comparativas consumos y costes estimados edificio Juan Benet II. ....	192
Figura 10.7. Gráficas comparativas consumos y costes estimados alumbrado exterior. ....	193
Figura 10.8. Gráficas comparativas consumos y costes estimados globales. ....	194
 Figura 12.1. Comparativa huella de carbono. ....	 206
 Figura 13.1. Espectros de radiancia luminaria LED. ....	 207
Figura 13.2. Riesgos relacionados con la luz azul. ....	208

# Índice de tablas

Tabla 4.1. Temperatura y apariencia de color. ....	24
Tabla 4.2. Primera cifra característica grado protección IP. ....	33
Tabla 4.3. Primera cifra característica grado protección IP. ....	34
Tabla 4.4. Símbolos grado protección IP. ....	34
Tabla 4.5. Cifra característica grado protección IK. ....	35
Tabla 5.1. Comparativa tecnologías iluminación. ....	45
Tabla 6.1. Valores límite de eficiencia energética de la instalación. ....	56
Tabla 6.2. Potencia máxima de iluminación. ....	57
Tabla 6.3. Relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas con la iluminación del área de tarea. ....	65
Tabla 6.4. Ángulos mínimos de apantallamiento en luminancias de lámparas especificadas. ....	66
Tabla 6.5. Grupos de apariencia de color de lámparas. ....	67
Tabla 6.6. Límites de luminancia de luminarias que puedan ser reflejadas en la pantalla. ....	68
Tabla 6.7. Zonas de tráfico dentro de edificios. ....	70
Tabla 6.8. Oficinas. ....	70
Tabla 6.9. Lugares de pública concurrencia – Áreas comunes. ....	71
Tabla 6.10. Lugares de pública concurrencia.....	71
Tabla 6.11. Establecimientos educativos – Edificios educativos. ....	72
Tabla 6.12. Relación entre iluminancias de áreas circundantes al área de tarea. ....	76
Tabla 6.13. Luz indeseable máxima permitida para instalaciones de iluminación exterior. ....	77
Tabla 6.14. Valores máximos de incremento de umbral para instalaciones de alumbrado que no son de carretera. ....	78
Tabla 6.15. Grupos de apariencia de color de lámparas.....	79
Tabla 6.16. Áreas de circulación en lugares de trabajo en exteriores. ....	80
Tabla 6.17. Áreas de aparcamiento. ....	80
Tabla 6.18. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental. .....	90
Tabla 6.19. Valores de eficiencia energética de referencia. ....	90
Tabla 6.20. Clasificación energética de una instalación de alumbrado. ....	91

Tabla 6.21. Clasificación de las vías. ....	92
Tabla 6.22. Clases de alumbrado para vías tipo C y D. ....	92
Tabla 6.23. Clases de alumbrado para vías tipo E. ....	92
Tabla 6.24. Series S de clase de alumbrado para viales tipos C, D y E. ....	93
Tabla 6.25. Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E. ....	93
Tabla 6.26. Niveles mínimos de iluminancia media en servicio del alumbrado ornamental. ....	93
Tabla 6.27. Clases G de intensidad luminosa de las luminarias. ....	94
Tabla 6.28. Clases D de índice de deslumbramiento. ....	94
Tabla 6.29. Índice de deslumbramiento en función de la altura de montaje. ....	94
Tabla 6.30. Evaluación del deslumbramiento mediante el índice GR. ....	94
Tabla 6.31. Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa. ....	95
Tabla 6.32. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado. ....	95
Tabla 6.33. Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior. ....	96
Tabla 6.34. Características de las luminarias y proyectores. ....	96
Tabla 6.35. Potencia máxima del conjunto lámpara y equipo auxiliar. ....	98
Tabla 7.1. Datos generales instalaciones iluminación edificio Betancourt. ....	103
Tabla 7.2. Datos generales instalaciones iluminación edificio Sabatini. ....	105
Tabla 7.3. Datos generales instalaciones iluminación biblioteca Rey Pastor. ....	107
Tabla 7.4. Datos generales instalaciones iluminación edificio Torres Quevedo. ....	109
Tabla 7.5. Datos generales instalaciones iluminación edificio Juan Benet I. ....	111
Tabla 7.6. Datos generales instalaciones iluminación edificio Juan Benet II. ....	112
Tabla 7.7. Datos generales instalaciones alumbrado exterior del campus. ....	114
Tabla 8.1. Características T8 Philips Master TL-D Super 80 36W/865. ....	119
Tabla 8.2. Características pantallas LED ETAP U23I2/LEDN35 y U25M2/LEDN50. ....	121
Tabla 8.3. Características pantallas LED ETAP U23F1/LEDN35 y U25M1/LEDN50. ....	121
Tabla 8.4. Características pantallas LED R736R1/LEDN3645SX1 y R751R1/3635SX1. ....	122
Tabla 8.5. Características pantallas LED TRILUX Araxeon 1500 XB 400-840T. ....	122
Tabla 8.6. Características fluorescentes compactos 22W, 13W, 9W y 16W. ....	123
Tabla 8.7. Características downlights LED Inplana C07 OTA25 2000-840 ETDD 01. ....	124
Tabla 8.8. Características halógenos 46W y 400W. ....	125
Tabla 8.9. Características proyector LED RZB Industrial Hall Midi 133W. ....	126
Tabla 8.10. Características plafones LED RZB 581625.004 Serie: Rounded. ....	128

Tabla 8.11. Características plafones LED LAMP NIC 105 DIR/INDIR 1200 WW MFL GR. ....	128
Tabla 8.12. Características halógenos MASTER CityWhite CDO-TT Plus 150W/828 E40. ....	129
Tabla 8.13. Características farola LED PHILIPS Stela+ gen2 round 55W y Stela long 37W. ....	130
Tabla 8.14. Características farola LED LAMP OWL CL.I 3300 NW GR.. ....	130
Tabla 8.15. Características farola Solar COVIMED 517 ECOLOGY. ....	131
Tabla 9.1. Datos y propuesta de actuación en aula 1.0.B.03. ....	137
Tabla 9.2. Exigencias DB HE3 y UNE EN 12464-1 y resultados obtenidos en aula 1.0.B.03. ....	139
Tabla 9.3. Datos y propuesta de actuación en despacho 1.3.D.08. ....	140
Tabla 9.4. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en despacho 1.3.D.08. ....	141
Tabla 9.5. Propuesta actuación en laboratorio 1.0.S.01. ....	142
Tabla 9.6. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en laboratorio 1.0.S.01. ....	143
Tabla 9.7. Datos y propuesta actuación en talleres nave sur. ....	144
Tabla 9.8. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en talleres nave sur. ....	145
Tabla 9.9. Propuesta actuación en pasillos planta baja. ....	146
Tabla 9.10. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillos planta baja. ....	147
Tabla 9.11. Datos y propuesta de actuación en despacho 2.0.B.19. ....	148
Tabla 9.12. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en despacho 2.0.B.19. ....	150
Tabla 9.13. Datos y propuesta de actuación en aula 2.3.B.04. ....	151
Tabla 9.14. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aula 2.3.B.04. ....	152
Tabla 9.15. Datos y propuesta de actuación en pasillos planta 1. ....	153
Tabla 9.16. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillos planta 1. ....	154
Tabla 9.17. Datos y propuesta de actuación en sala de lectura y estanterías planta 1. ....	155
Tabla 9.18. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos sala lectura y estanterías planta 1. ....	157
Tabla 9.19. Datos y propuesta de actuación en pasillos planta baja. ....	158
Tabla 9.20. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillos planta baja. ....	160
Tabla 9.21. Datos y propuesta de actuación en aula informática 4.S.D.02. ....	161
Tabla 9.22. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aula informática 4.S.D.02. ....	162
Tabla 9.23. Datos y propuesta de actuación en aparcamiento Torres Quevedo. ....	163
Tabla 9.24. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aparcamiento Torres Quevedo. ....	164
Tabla 9.25. Datos y propuesta de actuación en soportal edificio Torres Quevedo. ....	165
Tabla 9.26. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en soportal ed. Torres Quevedo. ....	166
Tabla 9.27. Datos y propuesta de actuación en soportal edificio Torres Quevedo. ....	168
Tabla 9.28. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en pasillo interior Juan Benet II. ....	169



Tabla 9.29. Datos y propuesta de actuación en aseo Juan Benet I. ....	170
Tabla 9.30. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en aseo Juan Benet I. ....	171
Tabla 9.31. Datos y propuesta de actuación en tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I. ....	172
Tabla 9.32. Exigencias a cumplir y resultados obtenidos en tiro escaleras y hall ascensores Juan Benet I. ....	173
Tabla 9.33. Características superficie y exigencias a cumplir en parque Sabatini. ....	174
Tabla 9.34. Datos y propuesta de actuación en parque Sabatini. ....	174
Tabla 9.35. Características alumbrado y resultados obtenidos en parque Sabatini. ....	175
Tabla 9.36. Cálculos calificación energética alumbrado parque Sabatini. ....	176
Tabla 9.37. Características superficie y exigencias a cumplir en parque y calle peatonal. ....	177
Tabla 9.38. Datos y propuesta de actuación en parque y calle peatonal. ....	177
Tabla 9.39. Características alumbrado y resultados obtenidos en parque y calle peatonal. ....	178
Tabla 9.40. Cálculos calificación energética alumbrado parque y calle peatonal. ....	179
Tabla 9.41. Características superficie y exigencias a cumplir en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	180
Tabla 9.42. Datos y propuesta de actuación en accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	180
Tabla 9.43. Características alumbrado y resultados obtenidos en accesos aparcamiento AUD y TQ. ....	181
Tabla 9.44. Cálculos calificación energética alumbrado accesos aparcamiento Auditorio y Torres Quevedo. ....	182
Tabla 9.45. Características superficie y exigencias a cumplir en acceso talleres Betancourt. ....	183
Tabla 9.46. Datos y propuesta de actuación en acceso talleres Betancourt. ....	183
Tabla 9.47. Características alumbrado y resultados obtenidos en acceso talleres Betancourt. ....	184
Tabla 9.48. Cálculos calificación energética alumbrado acceso talleres Betancourt. ....	185
 Tabla 10.1. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Agustín Betancourt. ....	 187
Tabla 10.2. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Sabatini. ....	188
Tabla 10.3. Tabla comparativa instalación actual y propuesta biblioteca Rey Pastor. ....	189
Tabla 10.4. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Torres Quevedo. ....	190
Tabla 10.5. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Juan Benet I. ....	191
Tabla 10.6. Tabla comparativa instalación actual y propuesta edificio Juan Benet II. ....	192
Tabla 10.7. Tabla comparativa instalación actual y propuesta alumbrado exterior. ....	193
Tabla 10.8. Tabla comparativa instalación actual y propuesta global. ....	194
 Tabla 12.1. Comparativa reposición lámparas y coste económico asociado. ....	 204

# Bibliografía

- [1] J. R. M. d. Luarca. [En línea]. Available:  
<https://joseramonmenendezdeluarca.wordpress.com/campus-politecnico-de-leganes-de-la-universidad-carlos-iii/>. [Último acceso: marzo 2017].
- [2] A. Díaz, 08 febrero 2016. [En línea]. Available:  
<http://leganesactivo.com/2016/02/08/historia-de-leganes-los-cuarteles-del-regimiento-de-saboya-edificio-sabatini/>. [Último acceso: marzo 2017].
- [3] INDALUX, «Indalux Iluminación Técnica, S.L. - INDALUX,» 2012. [En línea]. Available:  
[http://www.construmatica.com/empresa/industrias\\_derivadas\\_del\\_aluminio\\_sa\\_indalux/catalogos](http://www.construmatica.com/empresa/industrias_derivadas_del_aluminio_sa_indalux/catalogos).
- [4] J. L. F. y. G. Coronado, «fisicalab,» [En línea]. Available:  
<https://www.fisicalab.com/apartado/luz-y-ondas-em#contenidos>. [Último acceso: marzo 2017].
- [5] BOE, «UNE 21-302-78 (45)».
- [6] BOE, «UNE 21-302-78».
- [7] J. T. Montecelos, Configuración de instalaciones eléctricas, Paraninfo, marzo 2013.
- [8] BOE, «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado,» 27 octubre 1989. [En línea]. Available: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1989-25841&lang=gl](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1989-25841&lang=gl). [Último acceso: marzo 2017].
- [9] V. G. Ruiz, «Universidad Autónoma de Almería,» 27 septiembre 2014. [En línea]. Available:  
[http://www.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Perception/Sistema\\_Visual/index.html](http://www.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Perception/Sistema_Visual/index.html). [Último acceso: marzo 2017].
- [10] «fotonostra,» [En línea]. Available: <http://www.fotonostra.com/digital/partesojo.htm> . [Último acceso: marzo 2017].
- [11] J. Roufs, «Technische Universiteit Eindhoven,» Commission Internationale de l'Éclairage, 1978. [En línea]. Available: <https://pure.tue.nl/ws/files/4361765/756328.pdf>. [Último acceso: marzo 2017].

- [12] «Instituto Balear de Oftalmología,» 1 julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.ibo.es/el-test-de-snellen/>. [Último acceso: marzo 2017].
- [13] C. M. Montserrat, «UPC,» [En línea]. Available: <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz.php>. [Último acceso: marzo 2017].
- [14] A. Pérez, «nergiza,» 5 noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://nergiza.com/eficiencia-en-la-iluminacion-toda-la-verdad/>. [Último acceso: marzo 2017].
- [15] stilbtron, «stilbtron,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.stilbtron.com.ar/conceptos-basicos.html>. [Último acceso: marzo 2017].
- [16] «Comparalux,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesLuminotecnicas.php#no-back-button>. [Último acceso: marzo 2017].
- [17] «Gelfor,» [En línea]. Available: <http://gelfor.es/la-ip-la-iluminacion-grado-de-proteccion>. [Último acceso: marzo 2017].
- [18] IEC, «intertek,» [En línea]. Available: <http://www.intertek.es/iluminacion/ip-ingress-protection-iec-60529/>. [Último acceso: marzo 2017].
- [19] «cefire,» [En línea]. Available: [http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/199806/mod\\_resource/content/0/contenidos/009/luminotecnica/31\\_\\_tipos\\_de\\_lmparas.html](http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/199806/mod_resource/content/0/contenidos/009/luminotecnica/31__tipos_de_lmparas.html). [Último acceso: marzo 2017].
- [20] «guia\_instalaciones\_iluminacion,» [En línea]. Available: [http://www.pamplona.es/pdf/guia\\_instalaciones\\_iluminacion.pdf](http://www.pamplona.es/pdf/guia_instalaciones_iluminacion.pdf). [Último acceso: mayo 2017].
- [21] «elt-blog,» [En línea]. Available: <http://www.elt-blog.com/sistemas-de-regulacion-y-control-del-alumbrado-parte-1/>. [Último acceso: mayo 2017].
- [22] «CTE DB HE 0-5,» 2013.
- [23] «UNE 12464-1,» 2012.
- [24] «UNE 12464-2,» 2008.
- [25] «RD 56-2016,» 2016.
- [26] «UNE 16247-2,» 2014.
- [27] «RD 1890-2008,» 2008.

- [28] «ITC-BT-28,» [En línea]. Available: [http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC\\_BT\\_28.pdf](http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_28.pdf). [Último acceso: mayo 2017].
- [29] «iluminacionbysylvania,» [En línea]. Available: [https://www.iluminacionbysylvania.es/pdfs/ERP\\_Tertiary\\_Implementing.pdf](https://www.iluminacionbysylvania.es/pdfs/ERP_Tertiary_Implementing.pdf). [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [30] «remicaopinion,» [En línea]. Available: <http://remicaopinion.es/legislacion/normativa-eficiencia-energetica-en-focos-halogenos/>. [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [31] «efisablog.wordpress,» [En línea]. Available: <https://efisablog.wordpress.com/2014/11/30/regulacion-de-lamparas-vapor-de-mercurio-y-mezcla/>. [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [32] «remicaopinion,» [En línea]. Available: <http://remicaopinion.es/legislacion/normativa-eficiencia-energetica-en-focos-halogenos/>. [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [33] «totmercat,» [En línea]. Available: [https://www.totmercat.com/blog/15\\_Entra-en-vigor-la-3%C2%AA-etapa-del-ERP.html](https://www.totmercat.com/blog/15_Entra-en-vigor-la-3%C2%AA-etapa-del-ERP.html). [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [34] «i.ilamparas.com,» [En línea]. Available: [https://i.ilamparas.com/philips/2012/catalogo/2012\\_philips-308.jpg](https://i.ilamparas.com/philips/2012/catalogo/2012_philips-308.jpg). [Último acceso: mayo 2017].
- [35] «blog.ledbox.es,» [En línea]. Available: <https://blog.ledbox.es/informacion-led/instalacion-de-luminarias/cambiar-un-tubo-fluorescente-por-un-tubo-led>. [Último acceso: mayo 2017].
- [36] «topcable,» [En línea]. Available: <http://www.topcable.com/blog-electric-cable/cpr-la-nueva-normativa-europea-para-materiales-de-la-construccion/>. [Último acceso: mayo 2017].
- [37] «www.lighting.philips.es,» 1 enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.lighting.philips.es/soporte/contacto/tendencias-en-iluminacion/para-los-profesionales/el-canon-ecoraee-desciende-para-los-productos-led>. [Último acceso: marzo 2017].
- [38] «canviclimatic.gencat.cat,» [En línea]. Available: [http://canviclimatic.gencat.cat/es/reduex\\_emissions/factors\\_demissio\\_associats\\_a\\_lenergia/](http://canviclimatic.gencat.cat/es/reduex_emissions/factors_demissio_associats_a_lenergia/). [Último acceso: junio 2017].

[39] «rafael-alvarezp.blogspot.com,» [En línea]. Available: <http://rafael-alvarezp.blogspot.com/2015/10/led-riesgos-fotobiologicos.html>. [Último acceso: mayo 2017].

## **Anexos**



# **Anexo I. Planificación del proyecto**





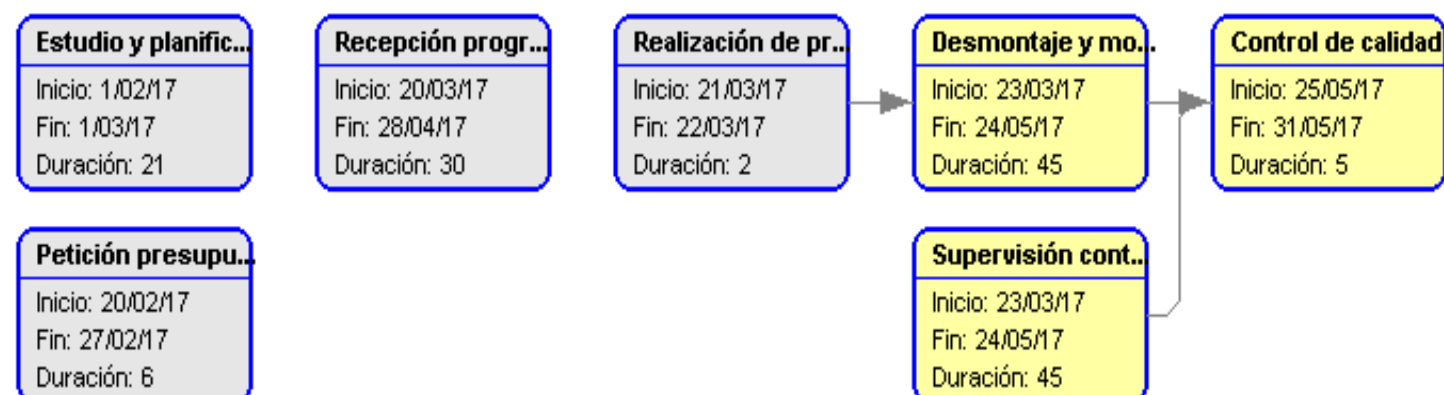
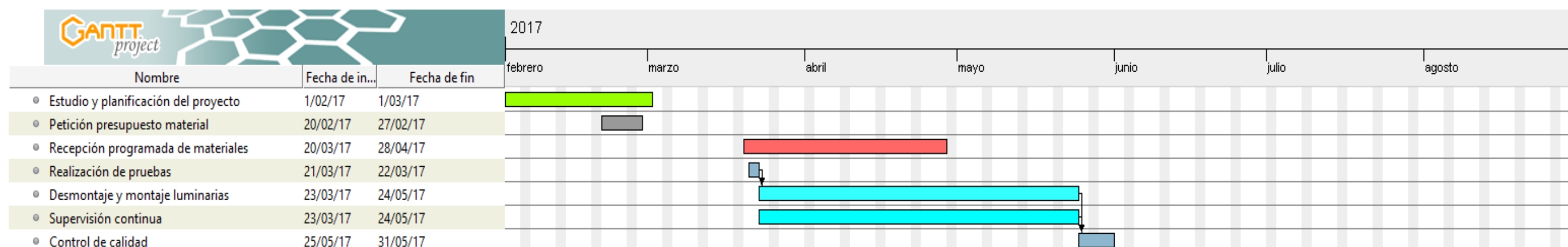
## Proyecto iluminación EPS UC3M LEGANÉS

| Gantt | Tarea | Recursos

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin	Recursos
Estudio y planificación del proyecto	1/02/17	1/03/17	
Petición presupuesto material	20/02/17	27/02/17	
Recepción programada de materiales	20/03/17	28/04/17	
Realización de pruebas	21/03/17	22/03/17	
Desmontaje y montaje luminarias	23/03/17	24/05/17	
Supervisión continua	23/03/17	24/05/17	
Control de calidad	25/05/17	31/05/17	

Ganttproject (2.7.2 Ostrava (build 1954))

ganttproject.biz  
7/05/17 - 10:32:18

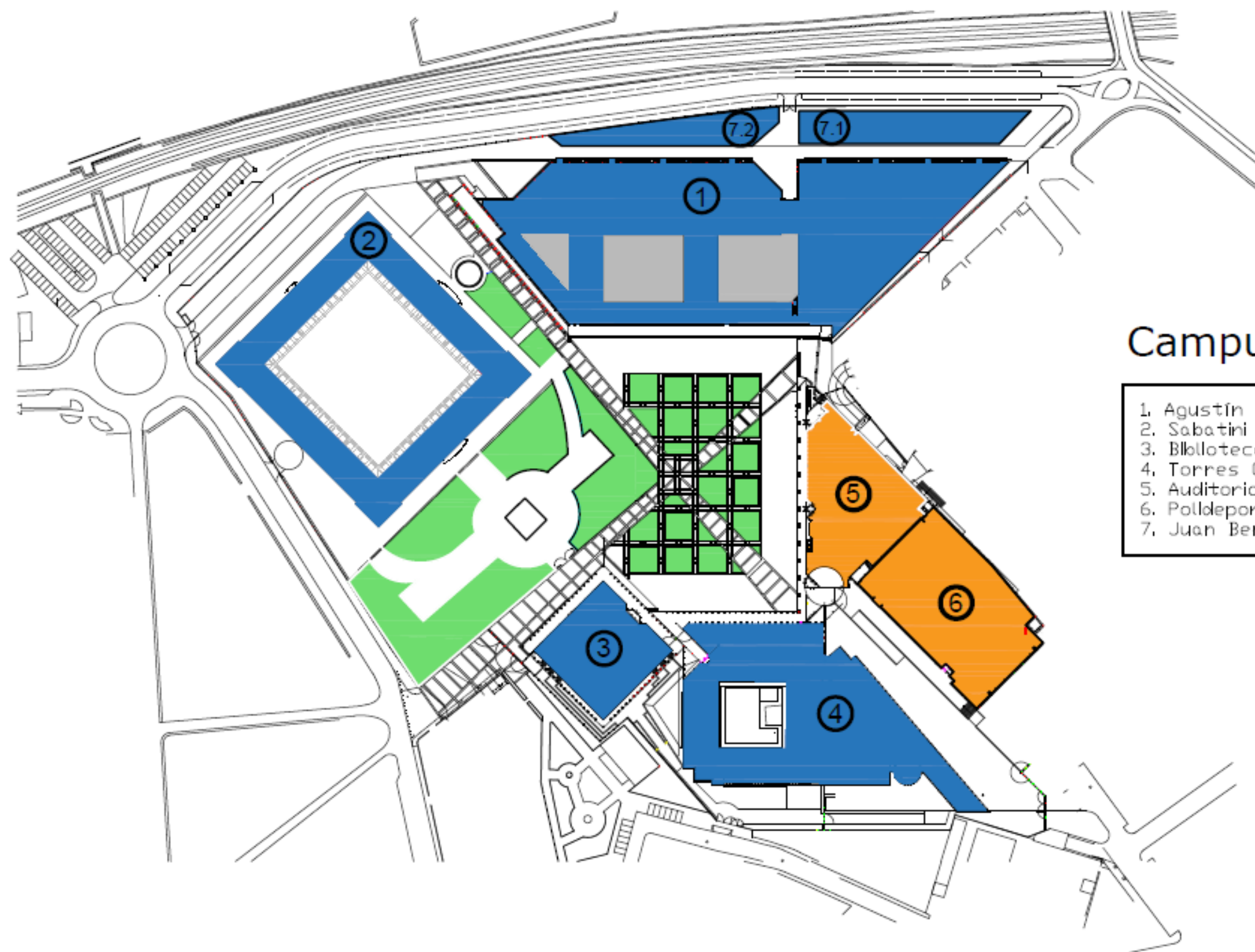




# **Anexo II. Planos**

PLANO 1: CAMPUS EPS UC3M LEGANÉS





## Campus de Leganés

1. Agustín Betancourt
2. Sabatini
3. Biblioteca Rey Pastor
4. Torres Quevedo
5. Auditorio Padre Soler
6. Polideportivo Alfredo Di Stefano
7. Juan Benet I y II

PROYECTO: MEJORA EN LA ILUMINACIÓN, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONTROL DEL FLUJO LUMINOSO DE LA EPS UC3M LEGANÉS

AUTOR: JAVIER BECERRIL DEL OLMO

ESCALA: sin escala

PLANO: CAMPUS EPS UC3M LEGANÉS

FECHA:

17/08/2017

Nº  
01









